

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Jari Närvänen

## **KUORMIEN ALASTUONNIN HALLINTA MONI- KERROKSISSA RAKENNUKSESSA**

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

Jari Närvänen

Kuormien alastuonnin hallinta monikerroksisessa rakennuksessa, 68 sivua, 2 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikka

Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö, 2011

Ohjaajat: Lehtori (DI) Petri Himmi, Vanhempi konsultti (RI) Jukka Ukko, Insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä eurokoodin mukainen Excel-laskentapohja kerrostalon pystykuormien laskentaa varten rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Laskennan on tarkoitus näyttää kuormat kerroksittain sekä kumulatiivisesti perustuksille asti. Laskentapohjaa voidaan soveltaa enintään 15-kerroksisille rakennuksille ja se ottaa huomioon ainoastaan pystykuormat. Laskenta kattaa kaksi runkojärjestelmää, seinät-laatta-runkojärjestelmän ja pilari-palkki-laatta-runkojärjestelmän. Työssä käsitellään ainoastaan nivelöityjä ja yksiaukkoisia rakennemalleja. Työn tilaajana toimi Insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen Oy.

Työssä tutkittiin tarvittavat kuormitusyhdistelyt eurokoodin mukaisesti murto- ja käyttörajatilassa. Näiden pohjalta luotiin puoliautomaattinen laskenta, joka suorittaa kuormitusyhdistelyt suunnittelijan valintojen ja lähtötietojen mukaan.

Tässä opinnäytetyössä laaditun laskentapohjan tarkoituksena tarkoituksena on vähentää rakennesuunnittelijan työtä laskettaessa pystykuormia suorittamalla automaattista laskentaa siinä määrin kuin se on järkevästi mahdollista.

Avainsanat: Eurokoodi, Excel, pystykuorma, murtorajatila, käyttörajatila, kuormitusyhdistely

## ABSTRACT

Jari Närvänen

Calculating vertical loads of a multi-storey building, 68 pages, 2 appendixes

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Civil and Construction Engineering

Thesis, 2011

Instructors: Lecturer (M.Sc.) Petri Himmi, Senior consultant (Str.Eng, B.Sc.)

Jukka Ukko, Structural Engineering Ylimäki & Tinkanen Ltd

The purpose of this thesis was to create an Excel-based calculation sheet for structural engineers to use when calculating vertical loads of a multi-storey building. The purpose of the calculation sheet is to show the effective loads separately in each storey and also cumulatively down to the foundations of the buildings. The calculation sheet cannot be applied higher than to 15-storey buildings including only vertical loads. The computing can be applied to two kinds of frameworks, which are respectively those of supporting wall slabs and slab-beam-walls. This thesis only includes jointed and one-gapped structures. The client of this thesis was Structural Engineering Ylimäki & Tinkanen Ltd.

The thesis studied the necessary combinations of actions based on Eurocode standards in ultimate limit states and in serviceability limit states. According to the Eurocodes a semi-automatic computing basis was created, which enables to complete the combinations based on the choices and data provided by the engineer.

The purpose of the calculation sheet is to reduce the work of the structural engineer when defining the vertical loads by completing automatic calculations as to the extent they can be rationally carried out.

Keywords: Eurocode, Excel, vertical loads, ultimate limit states, serviceability limit states, combination of actions

## SISÄLTÖ

SYMBOLILUETTELO .....	6
KÄSITTEET .....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Aiheen valinta .....	8
1.2 Työn ohjaus ja tavoitteet .....	8
2 EUROKOODI JA RAJATILAMITOITUKSEN PERUSTEET .....	9
2.1 Käsitteistä .....	11
2.2 Rajatilamitoitus .....	12
2.3 Murtorajatila .....	13
2.4 Käyttörajatila .....	17
2.5 Kuormat .....	19
2.6 Kuormien yhdistäminen .....	22
2.7 Osavarmuusluvut .....	23
3 EUROKOODIN KUORMITUSYHDISTELYT .....	26
3.1 Tasapaino .....	26
3.2 Lujuus .....	27
3.3 Geotekninen lujuus .....	28
3.4 Onnettomuustilanne .....	28
3.5 Käyttörajatilan yhdistelyt .....	29
4 VALITUT RUNKOJÄRJESTELMÄT JA RAJAUKSET .....	30
4.1 Seinät-laatta .....	31
4.2 Pilari-palkki-laatta .....	31
5 LASKENTA EUROKOODIA SOVELTAEN .....	32
5.1 Merkintöjen selitteet .....	33
5.2 Murtorajatilan yhdistelyt .....	34
5.3 Käyttörajatilan yhdistelyt .....	35
5.4 Yhdistelykertoimen määrittäminen .....	36
5.5 Kuormakertoimen määrittäminen .....	37
5.6 Seuraamusluokan määrittäminen .....	37
5.7 Kerrosvähennyksen laskenta .....	37
6 EXCEL-LASKENTAPOHJA .....	38
6.1 Seinät-laatta .....	42
6.2 Murtorajatilan arvot .....	45
6.3 Käyttörajatilan arvot .....	46
6.4 Murtorajatilan kuormitustapaukset .....	47
6.5 Käyttörajatilan kuormitustapaukset .....	48
6.6 Laskennan yhteenveto .....	49
6.7 Pilari-palkki-laatta .....	50
6.8 Laskennasta saatavien kuormitusarvojen käyttö .....	57
7 TULOSVERTAILU JA TESTAUS .....	57
8 POHDINTA .....	60
9 YHTEENVETO .....	64
KUVAT .....	66
TAULUKOT .....	67
LÄHTEET .....	68

## LIITTEET

Liite1 Tuloste kantavan seinän pystykuormalaskennasta

Liite2 Tuloste pilarin pystykuormalaskennasta

## SYMBOLILUETTELO

$A_d$	onnettomuuskuorman mitoitusarvo
$E$	kuormien vaikutus
$E_d$	kuormien vaikutuksen mitoitusarvo
$F$	kuorma, kuormitus
$F_d$	kuorman mitoitusarvo
$F_k$	kuorman ominaisarvo
$F_{rep}$	kuorman edustava arvo
$K_{FI}$	kuormakerroin
$n$	kerrosten lukumäärä (kerrosvähennyksessä)
$G$	pysyvä kuorma
$G_k$	pysyvän kuorman ominaisarvo
$G_{k,j,sup}$	pysyvän kuorman $j$ ominaisarvon yläraja
$G_{k,j,inf}$	pysyvän kuorman $j$ ominaisarvon alaraja
$P$	esijännitysvoiman kyseeseen tuleva edustava arvo
$Q$	muuttuva kuorma
$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman $1$ ominaisarvo
$Q_{k,i}$	muun samanaikaisen muuttuvan kuorman $i$ ominaisarvo
$R$	kestävyys
$R_d$	kestävyyden mitoitusarvo
$S_k$	lumikuorman ominaisarvo maassa
$\alpha_n$	kerrosvähennyksen pienennyskerroin
$\alpha_A$	pinta-alavähennyksen pienennyskerroin
$\beta$	luotettavuusindeksi
$\gamma$	osavarmuusluku
$\gamma_f$	kuormien osavarmuusluku
$\gamma_{G,j,sup}$	pysyvän kuorman $j$ osavarmuusluku mitoitusarvon ylärajalle
$\gamma_{G,j,inf}$	pysyvän kuorman $j$ osavarmuusluku mitoitusarvon alarajalle
$\gamma_P$	esijännitysvoimien osavarmuusluku
$\gamma_{Q,1}$	määräävän muuttuvan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{Q,i}$	muuttuvan kuorman $i$ osavarmuusluku
$\xi$	pienennyskerroin
$\Sigma$	summa
$\psi$	yhdistelykerroin
$\psi_0$	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin
$\psi_1$	muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykerroin
$\psi_2$	muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin

## KÄSITTEET

**BIM** (eng. *Building Information Model*) on tuote- eli tietomalli, joka on rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa.

**CEN** (ransk. *Comité Européen de Normalisation* tai eng. *European Committee for Standardization*) on yksityinen voittoa tavoittelematon järjestö, jonka päätehtävinä on edistää eurooppalaista standardisointia.

**ENV** (eng. *European pre-Standard*) on eurokoodin esistandardi (kumottu 30.3.2010).

**EQU** (eng. *Equilibrium*, tasapaino) on murtorajatila, jossa tarkastellaan jäykkänä kappaleena käsitettävän rakenteen tai sen minkä tahansa osan staattisen tasapainon menetystä.

**Eurokoodit** (eng. *Eurocode*) ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja.

**Excel** (suom. *olla erinomainen, ylittää*) on Microsoftin kehittämä taulukkolaskentaohjelma.

**FAT** on murtorajatila, jossa tarkastellaan rakenteen tai rakenneosien väsymismurtumista.

**GEO** (eng. *Geotechnical*, geotekninen) on murtorajatila, jossa tarkastellaan maan pettämistä tai liian suurta siirtymätilaa kun maakerroksen tai kallion lujuus on merkittävä kestävyuden saavuttamisen kannalta.

**JRC** (eng. *The Joint Research Centre*) Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus (YTK)

**Kumulatiivinen** tarkoittaa kasautuvaa, kertyvää, yhteisesti vaikuttavaa.

**Kvasistaattinen kuorma** on dynaaminen kuorma, joka on korvattu staattisessa mallissa saman vaikutuksen tuottavalla staattisella kuormalla.

**Käyttörajatila** (eng. *Serviceability limit state, SLS*) on eurokoodin rajatila.

**Murtorajatila** (eng. *Ultimate limit state, ULS*) on eurokoodin rajatila.

**NA** (eng. *National Annex*) on eurokoodin käyttöä kohdemaassa soveltava kansallinen liite, joka on jokaisella EU:n jäsenvaltiolla yksilöllinen.

**NAD** (eng. *National Application Document*) on esistandardin kansallinen soveltamisasiakirja (kumottu 30.3.2010).

**NDP** (eng. *Nationally Determined Parameters*) on maantieteelliset, ilmastolliset tai elämäntavoissa esiintyvät erot huomioon ottava kansallisesti määritettävä parametri.

**RIL** on Suomen rakennusinsinöörien liitto

**STR** (eng. *Strength*, lujuus) on murtorajatila, jossa tarkastellaan rakenteen tai rakenneosien sisäistä vaurioitumista tai liian suurta siirtymätilaa kun rakennusmateriaalien lujuus on määräävä.

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaaja on rakennesuunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen Oy. Yritys on perustettu vuonna 1984 Kotkaan ja sen päätoimialueita ovat uudis- ja peruskorjauskohteiden rakennesuunnittelu sekä erilaiset alan asiantuntijatehtävät. Kotkan päätoimiston lisäksi Helsinkiin on perustettu sivutoimisto. Henkilökuntaa Ylimäki & Tinkanen Oy pitää palveluksessaan tällä hetkellä (vuosi 2011) noin 60 henkeä.

## 1.1 Aiheen valinta

Tiedustellessani opinnäytetyöaiheita tarjottiin minulle kahta vaihtoehtoa. Ensimmäinen liittyi kuormien laskentaan kerrostalorakentamisessa Eurokoodin mukaisesti. Toinen ehdotus liittyi rakennesuunnittelijoiden ja geosuunnittelijoiden yhteistyön ohjeistamiseen viettäessä kuormia rakennukselta maaperään. Jälkimmäinen olisi huomattavan tutkimusluontoinen ohjeenkirjoitus sisältäen neuvotteluja ja selvityksiä. Kuormien laskenta tulisi käsittämään laajaan teoria-aineistoon perehtymistä ja sen saattamista haluttuun muotoon.

Pohdittuani vaihtoehtoja ja konsultoituani työn ohjaajia, päädyin laskentapohjan laatimiseen koskien kuormien alastuontia monikerroksisissa rakennuksissa eurokoodin mukaisesti.

## 1.2 Työn ohjaus ja tavoitteet

Työn pääohjaajana Saimaan ammattikorkeakoulusta toimi DI Petri Himmi ja Ylimäki & Tinkanen Oy:n puolelta vanhempi konsultti RI Jukka Ukko. Opinnäytetyön aihe oli virallisesti hyväksytty 7.12.2010, mutta sitä aloitettiin varsinaisesti tekemään täydessä laajuudessaan vasta kuukautta myöhemmin. Työ oli alustavasti suunniteltu saatavaksi valmiiksi huhtikuun puolella, mutta työn edetessä laaja aineisto aiheutti aikataulun venymistä. Päätin kuitenkin käyttää opinnäytetyöhön sen vaatiman ajan tinkimällä alkuperäisestä tavoitepäivämäärästä.

Työn tavoitteena oli laatia Excel-pohjainen laskentatyökalu rakennesuunnittelijoiden käyttöön, jolla tuodaan kuormitukset alas kerroksittain perustuksille eurokoodin mukaisesti. Työkalun hyöty syntyy siitä, että rakennesuunnittelija voi va-



lita kohteensa kantavaan osaan (pilari, palkki tai seinä) kuormitustilanteen mukaan oikeat kuormitustarkastelut nopeasti ja tehokkaasti käyttämättä liikaa aikaa toistuvaan eurokoodien tai muiden kuormitusohjeiden läpikäymiseen.

Laskennassa käsitellään useita eri kuormitusyhdistelyjä. Näitä ovat murtorajatilan yhdistelyt ja käyttörajatilan yhdistelyt. Tarkoituksena on myös selvittää, mitkä rakennusosat voidaan mitoittaa milläkin kuormitusyhdistelyllä.

Työ rajataan kahteen tapaukseen niin, että keskitytään kantavat kantavat seinät-laatta-runkoiseen ja pilari-palkki-laatta-runkoiseen rakennukseen. Excel-pohja laadittiin siten, että sitä voidaan soveltaa tarvittavaan määrään kerroksia tapauskohtaisesti, ja joka laskee tärkeimmät kuormitusyhdistelyt käyttäjän valintojen mukaan. Lisäksi oheen tehtiin laskentaa selventävä ja käyttöä helpottava käyttöohje.

## **2 EUROKOODI JA RAJATILAMITOITUKSEN PERUSTEET**

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja ja koostuvat tällä hetkellä (vuonna 2011) 58 osasta. Eurokoodit kattavat varmuuden määrittämisperiaatteet ja erilaiset kuormat kuten hyöty-, lumi-, tuuli-, lämpö-, onnettomuus- ja nosturikuormat.

Eurokoodikehitys alkoi vuonna 1975 Euroopan komission päätettyä toimenpiteohjelmasta, jolla poistettaisiin kaupan teknisiä esteitä ja yhtenäistettäisiin Euroopan sisäisiä teknisiä määräyksiä. Eurokoodissa on siis kyse yhtenäisen suunnittelukäytännön toteuttamisesta.

*"The Eurocodes to establish a set of common technical rules for the design of buildings and civil engineering works which will ultimately replace the differing rules in the various Member states."* (Alkup. lainaus: Leonardo da Vinci Pilot Project, Handbook 1. Lähde: Mäkinen, 2011)

Yllä mainittu lainaus tarkoittaa suomeksi:

*"Eurokoodit tehtiin, jotta voitaisiin perustaa yleiset tekniset säännöt rakennusten suunnitteluun ja rakennustoimintaan, jotka tulevat lopuksi korvaamaan eroavat säännökset useissa jäsenmaissa."*

Vuonna 1989 eurokoodien valmistelu ja julkaisu siirrettiin CEN:lle (*Comité Européen de Normalisation*). Työ annettiin CEN:lle mandaatilla (standardisoinnin toimeksianto), ja tässä vaiheessa tapahtui linkitys myös julkisten hankintojen direktiiveihin ja rakennustuotedirektiiveihin. Vuosina 1992-1998 CEN julkaisi esistandardeina (ENV) 62 kappaletta eurokoodeja. Kaikki eurokoodit on tarkoitus julkaista EN-standardeina.

Koska kaikissa Euroopan jäsenmaissa ei voida soveltaa täysin samoja lähtötietoja, on eurokoodeissa kansallisesti määrättäviä parametreja (*Nationally Determined Parameters* eli NDP), joille on annettu suositusarvoja. Jäsenmaat voivat kuitenkin antaa myös omia arvojaan kansallisen liitteen mukaan (*National Annex* eli NA). Suunnittelussa käytettävä kansallinen liite valitaan siis rakennuskohteen nimenomaisen sijaintimaan mukaan.

Rakenteita koskeva eurokoodiohjelma käsittää 10 standardia:

EN 1990 Eurokoodi 0 – Rakenteiden suunnitteluperusteet

EN 1991 Eurokoodi 1 – Rakenteiden kuormat

EN 1992 Eurokoodi 2 – Betonirakenteiden suunnittelu

EN 1993 Eurokoodi 3 – Teräsrakenteiden suunnittelu

EN 1994 Eurokoodi 4 – Betoni-teräsliittorakenteiden suunnittelu

EN 1995 Eurokoodi 5 – Puurakenteiden suunnittelu

EN 1996 Eurokoodi 6 – Muurattujen rakenteiden suunnittelu

EN 1997 Eurokoodi 7 – Geotekninen suunnittelu

EN 1998 Eurokoodi 8 – Rakenteiden suunnittelu kestävyys-  
suhteen  
maanjäristyksessä

EN 1999 Eurokoodi 9 – Alumiinirakenteiden suunnittelu

Tässä työssä käsitellään pääasiallisesti eurokoodeja EN 1990 ja EN 1991.

Tällä hetkellä kaikkien keskeisten eurokoodien suomenkieliset käännökset ja kansalliset liitteet ovat valmistuneet ja ovat siten käytettävissä rakenteiden mitoittamiseen. Ehdottomasti on sisäistettävä kuitenkin, että kantavien rakenteiden suunnittelu täytyy tehdä käyttäen joko suomen rakentamismääräyskokoelmaa tai eurokoodia. Molempien käyttö sekaisin ei ole sallittua. Näillä näkymin rinnakkaiskäyttö jatkuu ainakin vuoteen 2013 asti. Talonrakennus ei ole vielä päässyt eurokoodiin täysin mukaan, mutta siltojen suunnittelu tehdään jo yksinomaan eurokoodeilla. Huomioitavaa on myös CE-merkittyjen tuotteiden suunnittelu. CE-merkitty tuote vaatii eurokoodin mukaisen suunnittelun. (Mäkinen, 2011)

## 2.1 Käsitteistä

Kuormilla tarkoitetaan voimia, joiden yksikkönä on yleensä Newton [N] tai sen kerrannainen kiloNewton [kN]. Joskus käytetään myös massaa, jolloin yksikkönä on gramma [g] tai sen kerrannainen kilogramma [kg].

Käsitteissä on erityisesti huomioitava, ettei käsitteitä kuormitusyhdistely ja kuormitustapaus saa sekoittaa. Kuormitusyhdistelyllä tarkoitetaan määrättyä tapaa suorittaa kuormien yhdistäminen, ja tälle on aina omat yhtälönsä, esimerkiksi EQU ja STR ovat murtorajatilien eri kuormitusyhdistelyjä. Kuormitustapaus tarkoittaa yhdistelmässä suoritettavia erilaisia laskentoja, joissa etsitään määrävintä kuormitustapauksia kuormien sijoittelun ja yhdistelykertoimien avulla.

Eurokoodi rakentuu pääosin rivikirjoitetuista säännöistä, joihin liittyy taulukoita, kuvia, kaavioita ja kaavoja. Säännöt on jaoteltu periaate- ja soveltamissääntöihin. Periaatesäännöt (P) ovat määräyksiä, joita on pakko noudattaa. Merkintä ”P” johtuu eng. sanasta *Principle*. Soveltamissäännöt (A) ovat suositeltavia tapoja toteuttaa periaatesääntöjä. Merkintä ”A” johtuu eng. sanoista ”*Application rule*”. Vaihtoehtoisesti voi myös käyttää omia vastaavaan varmuustasoon johtavia sääntöjä. Niiden täytyisi kuitenkin johtaa eurokoodin mukaiseen vähimmäisvarmuustasoon. Eurokoodien perässä olevat liitteet voivat olla velvoittavia (*normative*) tai opastavia (*informative*). (Mäkinen, 2011)

Eurokoodeja selatessa kiinnittyy huomio vaihteleviin nimityksiin vaakasuunnassa eli horisontaalisesti vaikuttaviin voimiin, kuten tuuleen. Nimitys vaikuttaa ole-

van joko "vaakavoima" tai "poikittaisvoima". Väärinkäsityksien välttämiseksi ja teknisen tarkkuuden säilyttämiseksi tässä dokumentissa käytetään näistä voimista nimitystä vaakavoima. Sama koskee kerrosvähennystä, jonka arvosta käytetään nimityksiä "pienennystekijä" ja "pienennyskerroin". Koska kyseessä on yksikötön arvo eli kerroin, käytetään tässä dokumentissa siitä nimitystä pienennyskerroin.

## 2.2 Rajatilamitoitus

Rajatilalla tarkoitetaan olosuhdetta, jonka ylittämisen jälkeen rakenne ei enää toimi suunnitellulla tavalla. Eurokoodi perustuu osavarmuuslukumenetelmään ja rajatilamenetelmään. Rajatiloja ovat murtorajatila ja käyttörajatila, ja ne tulee aina käsitellä erikseen. Osavarmuuslukumenetelmää käytettäessä tulee osoittaa, että mitään rajatilaa ei ylitetä missään kyseeseen tulevassa mitoitustilanteessa, kun mitoitusmalleissa käytetään kuormien tai kuormien vaikutusten kestävyysmitoitussarvoja. (SFS-EN 1990, 6.1 [1])

Rajatilamitoituksen tulee perustua asianomaisia rajatiloja varten muodostettujen rakenne- ja kuormitusmallien käyttöön. Tällä tarkoitetaan lyhyesti sitä, että selvitetään mitoittavat tilanteet ja ilmiöt ja osoitetaan laskennallisilla menetelmin rakenteen kapasiteetin olevan rasitusta suurempi jonkin suureen suhteen. Mitoittavan ilmiön määrittää yleensä rakenteen suunnittelija tai viime kädessä asianomainen viranomainen. Vaihtoehtoisesti rakenteet voidaan mitoittaa suoraan tilastollisten menetelmien perusteella, mikäli päästään vähintään samaan varmuuteen kuin tarkemmilla analyyseilla. On siis sallittua katsoa, miten on aiemmin menetelty vastaavassa tilanteessa ja toimia sen mukaan, jos tilanteesta on riittävän hyvä ja varma käsitys. (EN 1990, 3.5 [1], EN 1990, 3.5[5]).

Rakenteen kestävyys perustuu siihen, että sen kapasiteetti (kyky kestää kuormaa) on suurempi kuin siihen kohdistuva rasitus (vaikuttavat kuormat). Yleisesti tämä kirjoitetaan eurokoodeissa muotoon:

$$R_d \leq E_d$$

missä

$R_d$  on kapasiteetti (eng. *Design Resistance*).

$E_d$  on rasitus (eng. *Design value of Effect*).

Laskettaessa kuormille mitoitusarvoja eli rakenteeseen vaikuttavan rasituksen suunnitteluarvoa, voidaan kuorman  $F$  mitoitusarvo  $F_d$  esittää yleisesti muodossa:

$$F_d = \gamma_f F_{rep}$$

missä

$$F_{rep} = \psi F_k$$

missä

$F_k$  on kuorman ominaisarvo (karakteristinen).

$F_{rep}$  on kuorman edustava arvo (eng. *representative*).

$\gamma_f$  on kuorman osavarmuusluku, joka ottaa huomioon kuormien arvojen mahdollisuuden poiketa epäedulliseen suuntaan edustavasta arvosta.

$\psi$  on yhdistelykerroin eli 1,00 tai  $\psi_0$  tai  $\psi_1$  tai  $\psi_2$ .

(EN 1990, 6.3.1)

## 2.3 Murtorajatila

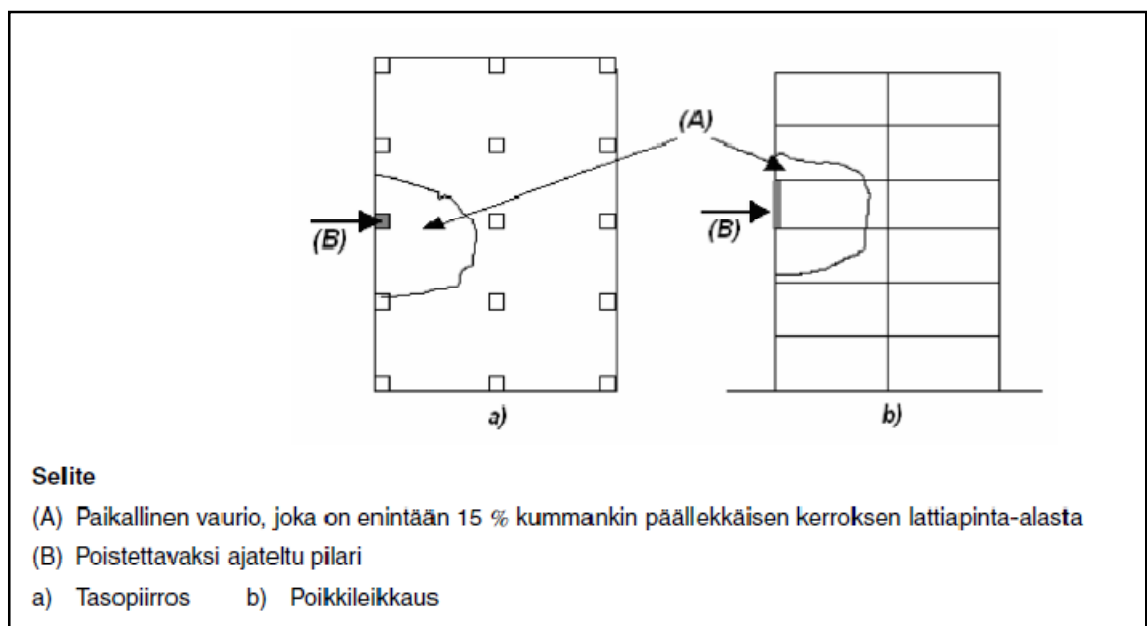
Murtorajatilalla (eng. *Ultimate limit state, ULS*) tarkoitetaan ihmisten turvallisuuden ja rakenteiden varmuuteen liittyviä rajatiloja. Yleensä murtorajatilassa tarkastellaan rakenteen murtumista ja tasapainon menetystä. Murtorajatilatarkasteluun voi liittyä kuitenkin jokin muukin ilmiö, kuten esimerkiksi rakenteen liiallinen siirtymätila tai joissakin olosuhteissa varastoitavan aineen suojaaminen.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään seuraavat murtorajatilat:

- EQU eli rakenteen tasapainon menetys
- STR eli rakenteen murtuminen tai liian suuri siirtymätila
- GEO eli maan pettäminen tai liian suuri siirtymätila

- Onnettomuustilanne eli rakennuksen tai rakenteen menettäessä kanta-  
van osan (paikallinen vaurio) tai rakenteen menettäessä lujuutta

Onnettomuustilanteella tarkoitetaan rakennesuunnittelussa paikallisen vaurion sallimista ja rakenteen tarkastelua onnettomuustilanteessa ja sen jälkeen. Paikallista vauriota runkojärjestelmässä havainnollistaa kuva 3.1. Tarkoitus on suunnitella rakennukselle riittävä vaurionsietokyky ja estää jatkuvan sortuman syntyminen. Onnettomuustilanteiden määrittely on sidonnainen seuraamusluokkaan. Suositeltava luokitus selviää taulukosta 3.1 ja seuraamusluokan määrittely taulukosta 3.2. Taulukossa 3.4 on esitetty Suomessa käytettävä Suomen kansallisen liitteen mukainen seuraamusluokkamäärittely. Seuraamusluokka on sidottu luotettavuusluokkaan, jonka perusteella saadaan rakennukselle luotettavuusindeksi  $\beta$  (taulukko 3.3) riippuen tarkasteltavasta aikajaksosta. Seuraamusluokitus on siis sidottu myös aikaan.



Kuva 3.1 Hyväksyttävän vaurioitumisen suositusraja (EN 1991, OSA 1-7, kuva A.1)

Eurokoodissa EN 1990 Osa 1-7 Liitteessä A kohdassa A.4 todetaan:

*”Seuraavia suositeltavia toimintaperiaatteita käyttäen saadaan aikaan rakennus, joka sietää paikallista vauriota sortumisen etenemättä suhteettoman laajalle.”*

Lisäksi kohdassa A.4(C) todetaan asuinrakennuksen ja tämän työn kannalta oleellisesti:

*”Varmistetaan, että kun rakennuksesta ajatellaan poistetuksi mikä tahansa tukipilari, pilaria tukeva palkki tai kohdan A.7 määrittelyn mukainen kantavan seinän lohko (yksi kerrallaan kussakin rakennuksen kerroksessa), rakennus pysyy vaakaana eikä mikään paikallinen vaurioituminen ylitä tiettyä rajaa.”*

Seuraamusluokka	Rakennuksen tyypin ja käyttötarkoituksen mukainen luokitus
1	Rivitalon tyyppiset rinnakkaisia huoneistoja käsittävät enintään nelikerroksiset talot Maatalousrakennukset Rakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä ja jos mikään rakennuksen osa ei ole muuta rakennusta tai ihmisten käyttämää tilaa rakennuksen puolitoistakertaista korkeutta lähempänä.
2a Melko pienen riskin ryhmä	Rivitalon tyyppiset rinnakkaisia huoneistoja käsittävät 5-kerroksiset talot Enintään 4-kerroksiset hotellit Enintään 4-kerroksiset asuintalot Enintään 4-kerroksiset toimistot Enintään 3-kerroksiset teollisuusrakennukset Enintään 3-kerroksiset vähittäismyymälät, joiden jokaisen kerroksen lattiapinta-ala on alle 1 000 m <sup>2</sup> . Yksikerroksiset oppilaitosrakennukset Kaikki enintään kaksi kerrosta käsittävät julkiset rakennukset, joiden lattiapinta-ala kerrosta kohti on enintään 2 000 m <sup>2</sup> .
2b Melko suuren riskin ryhmä	Yli 4-kerroksiset, mutta enintään 15-kerroksiset hotellit ja asuinrakennukset Yli yksikerroksiset, mutta enintään 15-kerroksiset oppilaitosrakennukset Yli kolmikerroksiset, mutta enintään 15-kerroksiset vähittäismyymälät Enintään 3-kerroksiset sairaalat Yli nelikerroksiset, mutta enintään 15-kerroksiset toimistot Kaikki julkiset rakennukset, joiden lattiapinta-ala kerrosta kohti on yli 2 000 m <sup>2</sup> , mutta enintään 5 000 m <sup>2</sup> . Enintään 6 kerrosta käsittävät pysäköintilaitokset.
3	Kaikki edellä melko pienen tai melko suuren riskin seuraamusluokkaan 2 määritellyt rakennukset, jotka ylittävät kerrosten pinta-alaa tai lukumäärää koskevat rajat Kaikki rakennukset, joihin kokoontuu suuria yleisömääriä Stadionit, joille mahtuu yli 5 000 katsojaa Rakennukset, jotka sisältävät vaarallisia aineita tai joissa käytetään vaarallisia prosesseja.

**Taulukko 3.1 Rakennusten suositeltu luokitus seuraamusluokkiin (EN 1991, OSA 1-7, taulukko A.1)**

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä
CC3	<b>Suuret</b> seuraamukset hengenmenetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	<b>Keskisuuret</b> seuraamukset hengenmenetysten tai <b>merkittävien</b> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikeyrakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	<b>Vähäiset</b> seuraamukset hengenmenetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

**Taulukko 3.2 Seuraamusluokan määrittely vaurion tai vian seuraamusten perusteella (EN 1990, taulukko B1)**

Luotettavuusluokka	Indeksin $\beta$ vähimmäisarvot	
	1 vuoden tarkastelujakso	50 vuoden tarkastelujakso
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

**Taulukko 3.3 Luotettavuusindeksille  $\beta$  suositeltavat vähimmäisarvot murtorajatiloiissa (EN 1990, taulukko B2)**



Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko <sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten <ul style="list-style-type: none"> <li>– yli 8-kerroksiset<sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja lii-kerakennukset</li> <li>– konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot</li> <li>– raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset</li> </ul> Erikoisrakenteet kuten esim. suuret mastot ja tornit Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien alueilla siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä.
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esim. varastot Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten <ul style="list-style-type: none"> <li>– matalalla olevat alapohjat, ilman kellaritiloja</li> <li>– ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne</li> <li>– sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana</li> <li>– standardin SFS-EN 1993-1-3:n rakenneluokkien (structural class) II ja III muotolevyrakenteet.</li> <li>– standardin SFS-EN 1993-1-3:n rakenneluokan (structural class) I muotolevyrakenteet levyyn taivutusta aiheuttaville pintaa vasten kohtisuorille kuormille<sup>3)</sup>.</li> </ul>

Taulukko 3.4 Seuraamusluokan määrittely Suomen kansallisen liitteen mukaan (SFS EN 1990, Suomen kansallinen liite, taulukko B1)

## 2.4 Käyttörajatila

Käyttörajatiloina luokitellaan rakenteiden toiminta normaalikäytössä, ihmisten mukavuus ja rakennuskohteen ulkonäkö. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi raken-

teen taipumista tai värähtelyä staattisten tai dynaamisten kuormien vaikutuksen alaisena. Palautuva ja palautumaton käyttörajatila tulee erottaa toisistaan.

Käyttörajatilan periaatesääntö on eurokoodissa asianomaisen käyttökelpoisuuskriteerin mukaisen rajoittavan mitoitusarvon ( $C_d$ ) suhde käyttökelpoisuuskriteerissä määriteltyjen kuormien vaikutusten ( $E_d$ ) mitoitusarvoon asianomaisen yhdistelmän perusteella. Rajoittavan mitoitusarvon täytyy olla suurempi kuin vaikutuksen. Tämä voidaan ilmaista lyhyemmin lausekkeena:

$$E_d \leq C_d$$

missä

$E_d$  on käyttökelpoisuuskriteerissä määriteltyjen kuormien vaikutusten mitoitusarvo, joka määräytyy asianomaisen yhdistelmän perusteella

$C_d$  on asianomaisen käyttökelpoisuuskriteerin mukainen rajoittava mitoitusarvo (eng. *serviceability criterion*)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään käyttörajatilan yhdistelmät:

- Ominaisyhdistelmä
- Tavallinen yhdistelmä
- Pitkäaikaisyhdistelmä

Ominaisyhdistelmää käytetään tavallisesti palautumattomille rajatiloille. Tässä rajatilassa kaikki käyttökelpoisuusvaatimukset ylittävät kuormien vaikutukset eivät palaudu, kun kuormat poistetaan, esimerkiksi seinä halkeilee.

Tavallista kuormayhdistelmää käytetään yleensä palautuville rajatiloille. Palautuvassa rajatilassa kuormat poistettaessa pysyviä vaikutuksia ei jää, esim. kimmoinen taipuma.

Pitkäaikaisyhdistelmää käytetään tavallisesti pitkäaikaisvaikutuksille ja tarkasteltaessa rakenteen ulkonäköä.

## 2.5 Kuormat

Eurokoodi luokittelee kuormat niiden aikariippuvuuden perusteella kolmeen tyyppiin. Nämä tyypit ovat EN 1990 kohdan 4.1.1 (1) mukaan seuraavat:

- Pysyvät kuormat (G), esim. rakenteiden, kiinteiden laitteiden ja tiepäälysteen oma paino ja kutistumisen ja epätasaisten painumien aiheuttamat välilliset kuormat. Vaikuttaa jatkuvasti ilman ajallista vaihtelua.
- Muuttuvat kuormat (Q), esim. rakennusten välipohjiin, palkkeihin ja vesikattoon kohdistuvat hyötykuormat, tuulikuormat ja lumikuormat. Ajallista vaihtelua tapahtuu.
- Onnettomuuskuormat (A), esim. räjähdykset tai ajoneuvojen törmäykset. Yleensä ajallisesti lyhytkestoisia.

Pysyvät kuormat muodostuvat rakennuksissa pääasiallisesti ulko- ja väliseinistä, ylä- ala- ja välipohjista. Lisäksi pysyvänä kuormana usein huomioidaan LVI-laitteet ja hormit. Muuttuvia kuormia rakennuksissa ovat pääasiassa tuuli, lumi, kevyet väliseinät, kalusteet ja ihmiset. Onnettomuuskuorma syntyy rakennuksiin useimmiten ajoneuvon törmäyksestä tai tulipalosta, maanjäristysalueilla maanjäristyksistä. Korkeissa rakennuksissa myös ilma-aluksen törmääminen on huomionarvoinen onnettomuustilanne.

Pysyvän kuorman ominaisarvo  $G_k$  on määritetty tilastollisilla periaatteilla. Jos kuorman vaihtelu (variaatio) on pieni, käytetään yhtä arvoa  $G_k$ , joka on variaation keskiarvo. Mikäli vaihtelu ei ole pieni, käytetään kahta arvoa, yläraja-arvoa  $G_{k,sup}$  (eng. *superior*) ja alaraja-arvoa  $G_{k,inf}$  (eng. *inferior*). Tällöin arvot saadaan käyttämällä variaatiokerrointa, joka on rakenteen tyypistä riippuen välillä 0,05...0,10. Kertoimet tulevat Gaussin tilastollisesta jakaumasta. Asiaa on tutkitu Euroopan komission yhteisessä tutkimuskeskuksessa (YTK, eng. JRC, *The Joint Research Centre*). (Mäkinen, 2011)

Muuttuvan kuorman ominaisarvo  $Q_k$  on määritetty tilastollisilla periaatteilla tai nimellisarvona, kun tilastollista jakaumaa ei tunneta. Tilastollisen perustan mukaan määritettynä ominaisarvo vastaa yläraja-arvoa, jota ei tietyllä todennäköi-

syydellä ylitetä tai alaraja-arvoa, joka tietyllä todennäköisyydellä saavutetaan määritellyn tarkastelujakson aikana. Ilmastosta aiheutuvien kuormien, kuten lumikuorman ominaisarvo perustuu yleensä tilastolliseen 50 vuoden toistumiskaksoon. Tällöin esimerkiksi 2 kN suuruinen lumikuorman ominaisarvo tarkoittaa sitä, että kerran viidessäkymmenessä vuodessa vaikuttaa määritetyllä alueella 200 kg / m<sup>2</sup> painava lumipeite (ns. täysi kuorma). (Mäkinen, 2011)

Muuttuvien kuormien ominaisarvot ovat sidonnaisia rakennuksen käyttöluokkaan, joka määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. Yleisimmät käyttöluokat on esitetty taulukossa 3.5. Käyttöluokkien mukaiset kuormat, tai tarkemmin eurokoodin niille määrittämät suositusominaisarvot eli vaihteluväli (väli, jolta kuorma voidaan valita) on esitetty taulukossa 3.6. Taulukossa 3.7 on esitetty Suomen kansallisessa liitteessä määritellyt kiinteät vähimmäisarvot sekä tasokuormalle ( $q_k$ ) että pistekuormalle ( $Q_k$ ), joita Suomessa käytetään.

Luokka	Käyttötarkoitus	Esimerkki
A	Asuin- ja majoitustilat	Asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien ja retkeilymajojen makuuhuoneet, keittiöt ja WC:t.
B	Toimistotilat	
C	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua (poikkeuksena luokkiin A, B, ja D kuuluvat tilat) <sup>1)</sup>	<p><b>C1:</b> Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat.</p> <p><b>C2:</b> Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat.</p> <p><b>C3:</b> Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit.</p> <p><b>C4:</b> Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt.</p> <p><b>C5:</b> Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötahtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit.</p>
D	Mymälätilat	<p><b>D1:</b> Tavallisten vähittäiskauppojen tilat.</p> <p><b>D2:</b> Tavaratalojen tilat.</p>

**Taulukko 3.5 Rakennusten käyttöluokitus käyttötarkoituksen perusteella (EN 1991, OSA 1-1, taulukko 6.1)**

Kuormitettujen tilojen luokat	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
<b>Luokka A</b>		
— Välipohjat	1,5 ... <u>2,0</u>	<u>2,0</u> ... 3,0
— Portaat	<u>2,0</u> ... 4,0	<u>2,0</u> ... 4,0
— Parvekkeet	2,5 ... 4,0	2,0 ... 3,0
<b>Luokka B</b>	2,0 ... <u>3,0</u>	1,5 ... <u>4,5</u>
<b>Luokka C</b>		
— C1	2,0 ... <u>3,0</u>	3,0 ... <u>4,0</u>
— C2	3,0 ... <u>4,0</u>	2,5 ... 7,0 ( <u>4,0</u> )
— C3	3,0 ... <u>5,0</u>	<u>4,0</u> ... 7,0
— C4	4,5 ... <u>5,0</u>	3,5 ... <u>7,0</u>
— C5	<u>5,0</u> ... 7,5	3,5 ... <u>4,5</u>
<b>Luokka D</b>		
— D1	<u>4,0</u> ... 5,0	3,5 ... 7,0 ( <u>4,0</u> )
— D2	4,0 ... <u>5,0</u>	3,5 ... <u>7,0</u>

**Taulukko 3.6 Hyötykuormat käyttöluokituksen perusteella (EN 1991, OSA 1-1, taulukko 6.2)**

Kuormitettujen tilojen luokat	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]			$Q_k$ [kN]
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
<b>Luokka A</b>	2,0	2,0	2,5	2,0
<b>Luokka B</b>	2,5	3,0	2,5	2,0
<b>Luokka C</b>				
— C1	2,5	3,0	2,5	3,0
— C2	3,0	3,0	3,0	3,0
— C3	4,0	3,0	4,0	4,0
— C4	5,0	3,0	5,0	4,0
— C5	6,0	6,0	6,0	4,0
<b>Luokka D</b>				
— D1	4,0	3,0	4,0	4,0
— D2	5,0	6,0	5,0	7,0

**Taulukko 3.7 Suomen kansallisessa liitteessä esitetyt hyötykuormat (Suomen kansallinen liite, taulukko 6.2)**

Kuormia voidaan luokitella myös välittömiksi tai välillisiksi riippuen niiden alkuperästä. Välittömiä kuormia ovat suoraan rakenteeseen vaikuttavat voimat, kuten painovoimasta johtuva rakenteen omapaino. Välillinen kuorma voi aiheutua esimerkiksi lämpötilan muutoksesta johtuvasta lämpölaajenemisesta, joka voi johtaa sisäisten rasitusten tai lämpöliikkeiden syntymiseen.

Yksi kuorman luokittelukriteeri on voiman vaikutuskohta ajan funktiona. Kiinteät kuormat vaikuttavat aina samoissa kohdissa, joten niiden vaikutuskohta on va-

kio. Muuttuvan kuorman vaikutuskohta tai vaikutusalue voi puolestaan vaihdella, ja tästä syystä siitä käytetään myös joskus nimitystä liikkuva kuorma. Tarkasteltaessa useita erilaisia muuttuvan kuorman esiintymistapauksia samassa rakennemallissa käytetään tarkastelusta usein nimitystä shakkilautakuormitus, jossa pyritään löytämään rakenteelle epäedullisin vaikutus.

Muuttuvista kuormista syntyvät vähäiset dynaamiset vaikutukset otetaan yleensä huomioon mallintamalla ne suoraan kvasistaattisiksi kuormiksi, kuten hyötykuormat mallinnetaan. Dynaamisilla vaikutuksilla tarkoitetaan kuormia, jotka aiheuttavat rakenteeseen merkittävää kiihtyvyyttä. Kuitenkin jos hyötykuorman dynaamiset vaikutukset ovat rakennuksessa merkittävät, kuten esimerkiksi tanssimisesta tai hyppimisestä aiheutuva resonanssi, on syytä laatia kuormitusmalli dynaamisten vaikutusten suhteen (EN 1991-1-1, 2.2 [3]).

## 2.6 Kuormien yhdistäminen

Eurokoodissa määräävin kuormitustapaus etsitään yhdistelemällä erillisiä kuormia siten, että ne vastaavat mahdollisimman hyvin valittuja mitoitusilanteita. EN 1990 kohdassa 6.4.3.1 kerrotaan:

*”(1)P Jokaisessa määräävässä kuormitustapauksessa kuormien vaikutusten mitoitusarvot ( $E_d$ ) tulee määrittää yhdistämällä sellaisten kuormien arvot, joiden katsotaan esiintyvän samanaikaisesti.”*

Jokaiseen kuormayhdistelmään kuuluu määräävä muuttuva kuorma tai onnettomuuskuorma. Yhdistelmissä ei kuitenkaan tarkastella samanaikaisesti vaikuttavia kuormia, joiden on esimerkiksi fysikaalisesti mahdotonta esiintyä samanaikaisesti (EN 1990, 6.1 [2]). Kuormayhdistelmä on siis rakenteen luotettavuuden osoittamiseen rajatilassa käytettävä mitoitusarvojen joukko eri kuormien vaikuttaessa samanaikaisesti. (EN 1990, 1.5.3.22)

Kuormien yhdistäminen tapahtuu käyttämällä yhdistelykerrointa  $\psi$ . Yhdistelykerrointa käytetään ainoastaan muuttuviin kuormiin. Koska kuormayhdistelyssä ei voi käyttää suoraan ominaiskuorman arvoa, lasketaan kuormalle edustava arvo kertomalla se yhdistelykertoimella. Vastaavasti mitoitusarvo saadaan edustavasta arvosta kertomalla se edelleen osavarmuusluvulla  $\gamma$ . Tällä periaatteella voidaan kirjoittaa muuttuvan kuorman ( $Q$ ) edustavan arvon ( $F_k$ ) kaava lyhyesti:

$$F_k = \Psi Q$$

Yhdistelykertoimen tarkoitus on ottaa huomioon erilaisten muuttuvien kuormien samanaikaisuus ja esiintymisen todennäköisyys eri aikajaksoilla. Yhdistelykerroimet on johdettu tilastollisista perusteista. Yhdistelykerroin riippuu tarkasteltavasta aikajaksosta ja rakennuksen tai rakenteen tyypistä. Ensimmäinen alaviite viittaa aikajaksoon eli yhdistelyn tyyppiin ja toinen alaviite viittaa kuormaan johon yhdistelykerrointa käytetään. Alaviitemerkinnöissä käytetään toisinaan myös tapaa kirjoittaa indeksit yhteen, kuten SFS 1990 suomen kansallisessa liitteessä onnettomuustilanteen yhdistelyissä muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien osalta pääasialliselle kuormalle " $\psi_{11} Q_{k1}$ ". Samassa liitteessä käytetään kuitenkin muille kuormille merkintätapaa " $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ ". Esitystapojen vaihtelun vuoksi esiintyneiden sekaannuksien vuoksi on tämän opinnäytetyön laskentapohjassa ja opinnäytetyössä käytetty pilkulla erotettavaa alaviitteiden esitystapaa. Esimerkiksi merkintä  $\psi_{2,1}$  tarkoittaa muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerrointa ( $\psi_2$ ), joka viittaa kuormaan 1.

## 2.7 Osavarmuusluvut

Osavarmuusluvut ovat kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytettyjä kertoimia. Tilanteesta riippuen asianomainen osavarmuusluku ottaa huomioon jonkin mahdollista virhettä aiheuttavan epävarmuustekijän, kuten esimerkiksi kuormien vaikutuksen määrittämistä varten käytettävän mallin epävarmuuden. Näin eurokoodi pyrkii varmaan suunnitteluun, jossa erilaiset materiaali- ja suunnitteluvirheet tai muut tuloksia mahdollisesti heikentävät tekijät otetaan huomioon laskennassa. Taulukoissa 3.8, 3.9 ja 3.10 on esitetty käytettävät kuormien mitoitusarvot osavarmuuslukujen ja ominaiskuormien funktiona.

Osavarmuuslukuja on erilaisia, ja niiden perustat ovat seuraavat:

$\gamma_G$  on pysyvän kuorman osavarmuusluku, jossa otetaan huomioon myös mallin epävarmuudet ja mittavaihtelut. Alaviite *sup* viittaa ylärajaan (epäedulliset) ja *inf* alarajaan (edulliset).

$\gamma_G$  on muuttuvien kuormien osavarmuusluku, jossa otetaan huomioon myös mallin epävarmuudet ja mittavaihtelut. Alaviite 1 viittaa määräävään muuttuvaan kuormaan ja alaviite  $i$  viittaa muuhun muuttuvaan kuormaan.

$\xi$  on epäedullisten pysyvien kuormien pienennyskerroin.

Osavarmuusluvut voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Suositusarvot EQU:ssa ovat:

$$\gamma_{G,j,\text{sup}} = 1,10$$

$$\gamma_{G,j,\text{inf}} = 0,9$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ epäedullisessa tapauksessa (edullisessa 0)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ epäedullisessa tapauksessa (edullisessa 0)}$$

Jos staattisen tasapainon tarkastelu sisältää myös rakenneosien kestävyys, voidaan käyttää vaihtoehtoisesti seuraavia suositusarvoja:

$$\gamma_{G,j,\text{sup}} = 1,35$$

$$\gamma_{G,j,\text{inf}} = 1,15$$

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusolot	Pysyvät kuormat		Määräävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat	
	Epäedulliset	Edulliset		Pääasiallinen (jos on)	Muut
(Yht. 6.10)	$\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$	$\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

**Taulukko 3.8 Kuormien mitoitusarvot EQU:ssa (EN 1990, taulukko A1.2[A])**

Tarkasteltaessa rakenteen kestävyyttä (STR) ovat osavarmuuslukujen suositellavat arvot seuraavat:

$$\gamma_{G,j,\text{sup}} = 1,35$$

$$\gamma_{G,j,\text{inf}} = 1,0$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ epäedullisessa tapauksessa (edullisessa 0)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ epäedullisessa tapauksessa (edullisessa 0)}$$



$$\xi = 0,85$$

Tällöin STR:ssä esiintyvä osavarmuuskerroin 1,15 saadaan yhtälöstä :

$$\xi \gamma_{G,j,\text{sup}} = 0,85 \cdot 1,35 = 1,1475 \sim 1,15$$

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitustilanteet	Pysyvät kuormat		Määrittävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)	
	Epäedulliset	Edulliset		Pääasiallinen (jos on)	Muut
(Yht. 6.10)	$\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$	$\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitustilanteet	Pysyvät kuormat		Määrittävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)	
	Epäedulliset	Edulliset	Kuorma	Pääasiallinen	Muut
(Yht. 6.10a)	$\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$	$\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Yht. 6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$	$\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

**Taulukko 3.9 Kuormien mitoitusarvot STR:ssä (EN 1990, taulukko A1.2[B])**

Geoteknistä lujuutta (GEO) määritettäessä ovat osavarmuuslukujen suositellut arvot seuraavat:

$$\gamma_{G,j,\text{sup}} = 1,35$$

$$\gamma_{G,j,\text{inf}} = 1,0$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,30 \text{ epäedullisessa tapauksessa (edullisessa 0)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,30 \text{ epäedullisessa tapauksessa (edullisessa 0)}$$

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusolot	Pysyvät kuormat		Määräava muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)	
	Epäedulliset	Edulliset		Pääasiallinen (jos on)	Muut
(Yht. 6.10)	$\gamma_{G,j} G_{k,j, sup}$	$\gamma_{G,j} G_{k,j, inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

**Taulukko 3.10 Kuormien mitoitusarvot GEO:ssa (EN 1990, taulukko A1.2[C])**

### 3 EUROKOODIN KUORMITUSYHDISTELYT

Tässä luvussa käydään läpi kuormitusyhdistelyt eurokoodissa esitetyllä tavalla ja Suomessa yleensä käytetyssä muodossa. Yhtälöt ovat sinänsä samoja, mutta eurokoodissa esitetty alkuperäismuoto on jokseenkin vaikeampi tulkita, ja niitä on selvennetty yksinkertaisempaan muotoon aiemminkin, kuten Suomen rakennusinsinöörien liiton suunnitteluohjeessa RIL 201-1-2008.

#### 3.1 Tasapaino

Eurokoodi antaa kuormien vaikutukselle ( $E_d$ ) yleisen muodon, jota voidaan käyttää yleisesti laskettaessa kuormien mitoitusarvoa. Tätä voidaan käyttää myös määrittäessä rakenteen tasapainoa (EQU). Yleinen muoto kirjoitetaan:

$$E_d = \gamma_{sd} E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (\text{EN 1990, kaava 6.9a})$$

Yllä esitetyssä  $\gamma_{sd}$  on osavarmuusluku, joka ottaa huomioon kuormien vaikutusten määrittämistä varten käytettävän mallin epävarmuuden. Kuormien mitoitusarvo saadaan siis kertomalla kuormien vaikutus asianomaisella osavarmuusluvulla.

Yleinen muoto voidaan esittää lausekkeena:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Suomessa käytetään:

$$\left. \begin{matrix} 1,1 \\ 0,9 \end{matrix} K_{FI} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

missä

$K_{FI}$  on kuormakerroin

$G_{k,j}$  on pysyvät kuormat, epäedullisen tai edullisen vaikutuksen aiheuttava

$\gamma_P$  on esijännitysvoimien osavarmuusluku

$P$  on esijännitysvoima

$Q_{k,1}$  on määräävä muuttuva kuorma

$\psi_{0,i}$  on muun muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

$Q_{k,i}$  on muu muuttuva kuorma

"+" -merkintä tarkoittaa kuormien yhdistämistä siten, että kuorman suunta ja merkki on huomioitu

Yhdistelyssä tasapainoa parantavat edullisia pysyviä kuormia pienennetään kertoimella 0,9 ja tasapainoa heikentäviä epäedullisia pysyviä kuormia suurennetaan kertoimella 1,1. Epäedulliset kuormat ovat myös kuormakertoimen  $K_{FI}$  takana.

### 3.2 Lujuus

Tarkasteltaessa rakenteen lujuutta (STR), voidaan eurokoodin mukaan käyttää kohdassa 4.1 esitettyä yleistä muotoa, tai vaihtoehtoisesti epäedullisempaa seuraavista kahdesta lausekkeesta:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right.$$

Suomessa STR:n osalta käytetään:

$$\left. \begin{array}{l} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{array} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kuitenkin vähintään:

$$\left. \begin{matrix} 1,35K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j}$$

Täytyy siis erikseen tarkastaa myös pelkästään pysyvien kuormien aiheuttama vaikutus. Tämä on harvoin määräävä, mutta hyötykuormien suhteellisen vähäisyyden vallitessa näin voi kuitenkin käydä. STR:n Suomessa käytetyn yhdistelyn ylemmän yhtälön ainoa ero EQU:n yhtälöön on osavarmuuskertoimen 1,1 muuttuminen arvoon 1,15. Tämä johtuu käytettävästä pienennyskertoimesta  $\xi$ .

### 3.3 Geotekninen lujuus

Geoteknisen lujuuden (GEO) osalta sovelletaan eurokoodissa samoja yhtälöjä kuin STR:ssä. Osavarmuuskertoimet ovat kuitenkin erisuuruiset.

Suomessa GEO:n osalta käytetään:

$$\left. \begin{matrix} 1,0K_{FI} \\ 1,0 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma P + 1,3K_{FI} Q_{k,1} + 1,3K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

### 3.4 Onnettomuustilanne

Onnettomuusmitoitustilanteissa kuormien vaikutusten yleinen muoto on eurokoodissa:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; A_d; (\psi_{1,1} \text{ tai } \psi_{2,1})Q_{k,1}; \psi_{2,i}Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (\text{EN 1990, kaava 6.11a})$$

Suomessa onnettomuustilanteen yhdistelyt on jaettu pääasiallisen kuorman perusteella kahteen yhtälöön. Jos pääasiallisena kuormana on lumi, jää- tai tuulikuorma käytetään yhtälöä:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Jos pääasiallisena kuormana on muu kuin lumi, jää- tai tuulikuorma, käytetään yhtälöä:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } A_d \text{ "+" } \psi_{2,1} Q_{k,1} \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Yhtälöistä nähdään ainoaksi eroksi pääasiallisen kuorman yhdistelykerroin. Lu-  
melle käytetään tavallisen arvon yhdistelykerrointa, kun taas muussa tapauk-  
sessa, esimerkiksi hyötykuorman ollessa pääasiallinen kuorma, käytetään pit-  
käaikaisarvon yhdistelykerrointa. Kertoimet johtuvat tilastollisista perusteista  
hyöty- ja lumikuorman suuruudesta onnettomuustilanteessa. Onnettomuustilan-  
teen yhdistelyissä ei myöskään esiinny kuormakerrointa tai osavarmuuskerto-  
mia.

### 3.5 Käyttörajan yhdistelyt

Käyttörajan yhdistelyt ovat eurokoodissa huomattavasti selkeämmät kuin  
murtorajan, ja niitä käytetäänkin suoraan sellaisenaan Suomessa kuin ne on  
standardissa esitetty.

Ominaisyhdistelmä esitetään eurokoodissa muodossa:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; Q_{k,1}; \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (\text{EN 1990, kaava 6.14a})$$

missä suluissa { } oleva kuormayhdistelmä (jota kutsutaan ominaisyhdistelmäk-  
si), voidaan esittää muodossa:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Tavallinen yhdistelmä esitetään eurokoodissa muodossa:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; \psi_{1,1} Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (\text{EN 1990, kaava 6.15a})$$

missä suluissa { } oleva kuormayhdistelmä (jota kutsutaan tavalliseksi yhdistel-  
mäksi), voidaan esittää muodossa:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \psi_{1,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Pitkäaikaisyhdistelmä esitetään eurokoodissa muodossa:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; \psi_{2,i}Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (\text{EN 1990, kaava 6.16a})$$

missä suluissa { } oleva kuormayhdistelmä (jota kutsutaan pitkäaikaisyhdistelmäksi) voidaan esittää seuraavasti:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

## 4 VALITUT RUNKOJÄRJESTELMÄT JA RAJAUKSET

Työn alkuvaiheessa päätettiin, millaisiin runkoihin olisi järkevää laatia pystykuormia käsittelevä laskentapohja. Päädyttiin kahteen runkojärjestelmään, joissa esiintyy paljon yksinkertaista laskennan toistoa. Tämä siksi, että laskentapohjan hyöty ja käytön turvallisuus nousevat esiin toistuvissa rakenteissa koskien staattisia perustapauksia. Tällä tarkoitetaan yksinkertaista rakennemallia, joissa rakenteet ovat nivelöityjä (ei momenttia) ja rakennuksia, joissa ylempi kerros on identtinen alemman kanssa. Kuormitusalueiden ja kuormien ollessa kerroksissa samoja on niiden määrittäminen ja syöttö laskentaan helppoa. Monimutkaisimmissa runkojärjestelmissä katsottiin viisaammaksi pysytellä tapauskohtaisessa laskennassa käyttäen kehittyneempiä laskentaohjelmistoja sekä käsinlaskentaan perustuvaa tarkistusta.

Opinnäytetyössä käsiteltäviksi valittiin seinät-laatta- ja pilari-palkki-laattarunkojärjestelmät. Laskennan soveltaminen rajattiin ainoastaan päistään nivelöidyille pilareille ja yksiaukkoisille päistään nivelöidyille palkeille, jolloin jatkuvuuksien aiheuttama laskennan monimutkaistuminen vältettiin. Jatkuvien rakenteiden aiheuttamien momentti- ja jännitysjakautumien katsottiin aiheuttavan liikaa virhealttiutta, ja näin ollen otettiin tarkasteluun ainoastaan nivelöidyt rakenteet.

Opinnäytetyötä aloitettaessa oli tavoitteena käsitellä myös murtorajatila FAT (eng. *fatigue*) eli rakenteen tai rakenneosien väsymismurtuminen, mutta työn edetessä päätettiin sen tarkastelut jättää pois laskelmista. Syynä tähän oli työn rajaaminen ja FAT-tarkastelujen suhteellinen tarpeettomuus, sillä muilla murtorajatilan yhdistelyillä saadaan riittävän kattava käsitys kuormituksista.

Laskentaperiaatteita rajattiin siten, että laskentapohjasta tulee helposti ymmärrettävä ja käytännöllinen. Päädyttiin seuraaviin rajauksiin:

- Vaakavoimia ei huomioida (esim. tuuli)
- Esijännitysvoimia (P) ei huomioida
- Pinta-alavähennyksiä ei käytetä ( $\alpha_A$ )
- Aukkoja rakenteissa ei vähennetä kuormista (esim. ikkunat, ovet)
- Pystykuormia ei jaotella edullisiin ja epäedullisiin

Vaakavoimia ei huomioida pystykuormia tarkastellessa, koska laskenta ei ota kantaa rakennuksen kokonaisstabiiliteettiin tai jäykistykseen. Esijännitysvoimat jätettiin myös yhtälöistä pois niiden suhteellisen vähäisyyden vuoksi, ja koska ne on helpompi ottaa erikseen huomioon tapauskohtaisesti. Pinta-alavähennyksiä ei käytetä eikä huomioida, koska laskentapohjaan laadittiin kerrosvähennyksen huomioiva parametri. Pinta-alavähennystä ja kerrosvähennystä ei saa käyttää ristiin eikä yhdistelykertoimen  $\psi$  kanssa.

#### **4.1 Seinät-laatta**

Seinät-laatta-runkojärjestelmässä rakennuksen tasokuormat siirtyvät laattoja pitkin kantaville seinille. Tällainen runko on yleinen asuinkerrostalorakentamisessa. Esimerkkinä runkojärjestelmästä on ontelolaatasto, joka tukeutuu päistään teräsbetonisille ulko- tai väliseinille. Kantavat seinät välittävät taso- ja pystykuormat edelleen perustuksille ja sitä kautta maahan.

#### **4.2 Pilari-palkki-laatta**

Pilari-palkki-laatta-runkojärjestelmässä rakennuksen tasokuormat siirtyvät laattoja pitkin palkeille ja palkeilta pilareille. Pilareita pitkin taso- ja pystykuormat siirtyvät edelleen perustuksille ja maahan. Tällainen runko on yleinen liiketalo- rakentamisessa.

## 5 LASKENTA EUROKOODIA SOVELTAEN

Tässä opinnäytetyön laskentapohjassa kuormien laskenta tehdään eurokoodin mukaisesti. Mitään Suomen rakentamismääräyskokoelman tai muun kuormitusohjeen mukaisia menettelyjä tai rinnakkaismenettelyjä ei käytetä, eikä laskentaa vertailla edellä mainittuihin tarkasti. Tämä katsottiin tarpeettomaksi koska kyseessä on kaksi erilaista menetelmää, joten välivaiheet ovat tietenkin erilaisia. Lopputulosten suuruusluokkavertailuja tehtiin jonkin verran.

Kuormitusyhdistelyjä laadittaessa yksinkertaistettiin yhtälöjä jossain määrin laskentapohjan käytön helpottamiseksi. Kuormien jakaminen eurokoodin mukaisiin epäedullisiin (alaviite *sup*) ja edullisiin (alaviite *inf*) kuormiin pystykuormia laskettaessa olisi vaikeuttanut lähtöarvojen määrittelyä siinä määrin, että päädyttiin määrittelemään kuormituksille ylä- ja ala-arvot. Tämä on perusteltavissa tässä työssä sillä, ettei mitään vaakavoimia huomioida, jolloin rakennukseen syntyvää momenttia eli kuormien siirtymistä ei voida huomioida epäedullisilla tai edullisilla kuormilla.

Yläarvot määräytyvät määräävän kuorman mukaan eli etsitään suurinta mahdollista kuormitusta. Ala-arvoa laskettaessa huomioidaan ainoastaan pysyvät kuormat tietyllä kertoimella, jolloin etsitään pienintä mahdollisesti vallitsevaa kuormitustilannetta pystykuormien kannalta. Kantavia seiniä mitoitettaessa pienimmällä kuormituksella on harvoin merkitystä tarkasteltaessa pystykuormia etenkin asuinkerrostalorakentamisessa, mutta pilarin mitoituksessa pienin pystykuorma voi olla - ja usein onkin - mitoittavin tilanne. Tämä on selitettävissä pystykuorman stabiloivasta vaikutuksesta pilariin, jolloin vähäinen pystykuorma johtaa siihen, että pilarin mitoittaa momentti eikä normaalivoima. Pystykuorman vaihteluväli kuormitustilanteen mukaan voikin johtaa pilarin mitoituksessa suuriin muutoksiin jännitysjakauksissa, jolloin puristuspuoli voi muuttua vedetyksi ja vastaavasti toisin päin.



## 5.1 Merkintöjen selitteet

Tässä selitetään laskentapohjassa käytetyt merkinnät. Merkinnästä on selvitetty lyhyesti sen nimitys, merkitys, määräytymisperuste ja sen käyttö laskennassa. Yhtälöiden oikea tulkitseminen ja laskentapohjan käyttö edellyttää näiden selitteiden ymmärtämistä.

$K_{FI}$  on kuormakerroin ja se määräytyy seuraamusluokan perusteella. Se voi saada arvon 0,9 tai 1,0 tai 1,1 riippuen rakennuksesta. Kaikki yli 8-kerroksiset rakennukset kuuluvat seuraamusluokkaan CC3 jolloin kuormakerroin saa arvon 1,1. Kuormakerroin siis pienentää tai suurentaa murtorajatilán arvoja riippuen kuinka merkittävästä rakennuksesta on kyse, eli kuinka suuret ovat riskit. Seuraamusluokan valintaan liittyy rakennuksen luotettavuusluokitus. Kuormakerrointa ei käytetä käyttörajatilassa.

$G_k$  on pysyvän kuorman ominaisarvo. Pysyviä kuormia ovat pysyvät rakenteet eli rakennuksen omat painot kuten seinät ja laatat.

$Q_{k,1}$  on määräävän muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo. Määräävä muuttuva kuorma voi olla pystykuormia määritettäessä Excel-laskentaan hyötykuorma tai lumikuorma. Määräävää kuormaa ei tiedetä ennen kuin on suoritettu molemmat kuormitustapaukset. Määräävän kuorma on syntyneistä kahdesta arvosta suurempi.

$Q_{k,i}$  on muun samanaikaisen muuttuvan kuorman  $i$  ominaisarvo. Tämä voi olla lumi- tai hyötykuorma. Muu samanaikainen muuttuva kuorma selviää vastaavalla tavalla kuin määräävä muuttuva kuorma sijoittamalla kuormat vuorotellen yhtälöihin ja etsimällä pienin arvo.

$\psi$  on yhdistelykerroin.

$\psi_0$  on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (mm. ominaisyhdistelmässä).

$\psi_1$  on muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykerroin.

$\psi_2$  on muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin.

$A_d$  on onnettomuuskuorma. Onnettomuuskuorman määrittelee laskentaan erikseen suunnittelija standardin SFS EN 1991 osan 1-7 mukaan. Onnettomuuskuorma voi olla esimerkiksi lisääntynyt kuormitus alla olevalle seinälle mikäli jokin osa seinästä menettää kantavuuttaan. Kuormitus voi olla myös muunlainen laskennassa huomioitava ilmiö kuten teräksen lujuuden aleneminen tulipalotilanteessa.

$\alpha_n$  on kerrosvähennyksen pienennyskerroin. Kerroksissa vaikuttavia hyötykuormia voidaan pienentää kertomalla ne pienennyskertoimella  $\alpha_n$ . Kerrosvähennys pohjautuu tilastolliseen todennäköisyyteen kerroksien määrän suhteesta täyden hyötykuorman esiintymistodennäköisyyteen. Toisin sanoen mitä enemmän rakennuksessa on kerroksia, sen pienemmällä todennäköisyydellä joka kerroksessa vaikuttaa täysi hyötykuorma. Tästä johtuva hyötykuorman "vähentyminen" voidaan huomioida käyttämällä eurokoodin tarjoamaa pienennyskerrointa.

## 5.2 Murtorajatilan yhdistelyt

Laskentapohjassa murtorajatilan tuloksia määrittävät yhtälöt kirjoitettiin näkyviin tulosteeseen ja ne käyvät ilmi taulukosta 6.1. Merkinnät on selitetty kohdassa 6.1.

Yläarvoja määritettäessä yhtälöistä nähdään EQU:n ja STR:n eroiksi pysyvien kuormien kertoimen ero (osavarmuusluvut 1,1 ja 1,15). Muuttuvat kuormat otetaan 1,5-kertaisina yhdistelykerroin huomioiden. Lisäksi STR:n osalta tarkastetaan rakennuksen pysyvät kerrottuna kuormakertoimella ja varmuuskertoimella 1,35. Yleensä kuitenkin taulukossa 6.1 esitetyistä STR:n yhtälöistä ylempi on määräävämpi eli antaa suuremman arvon.

Geoteknistä kantavuutta määritettäessä pysyvät kuormat kerrotaan kuormakertoimella ja muuttuvat kuormat otetaan 1,3-kertaisina yhdistelykerroin huomioiden.

Onnettomuustilanteessa ei käytetä kuormakerrointa ja kaikki pysyvät kuormat otetaan ominaisarvoina ja muuttuvat kuormat yhdistelykerroin huomioiden edustavina arvoina. Yhdistelyyn lisätään onnettomuuskuorman suunnitteluarvo  $A_d$ .

Onnettomuustilanteessa vertaillaan kahta tilannetta mitoittavan kuorman mukaan, ja molemmissa tilanteissa suoritetaan tarvittavat kuormitustapaukset.

Ala-arvoja määritettäessä otetaan huomioon ainoastaan omat painot pienennettynä kertoimella 0,9.

<b>Yläarvot määräävän kuorman mukaan</b>			
<b>EQU (Tasapaino)</b>			
$1,1K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$			
<b>STR (Lujuus) Suurempi seuraavista</b>			
$1,15K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$			
$1,35K_{FI}\Sigma G_k$			
<b>GEO (Geotekninen kantavuus)</b>			
$1,0K_{FI}\Sigma G_k + 1,3K_{FI}Q_{k,1} + 1,3K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$			
<b>Onnettomuustilanne (mitoittavan kuorman mukaan)</b>			
$\Sigma G_k + A_d + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$		Lumi	
$\Sigma G_k + A_d + \psi_{2,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$		Hyöty	
<b>Ala-arvot vain pysyvät kuormat huomioiden</b>			
$0,9\Sigma G_k$			

Taulukko 6.1 Murtorajatilan yhdistelyt

### 5.3 Käyttörajatilan yhdistelyt

Laskentapohjassa käyttörajatilan tuloksia määrittävät yhtälöt kirjoitettiin näkyviin tulosteeseen ja ne käyvät ilmi taulukosta 6.2. Merkinnot on selitetty kohdassa 6.1.

Yläarvot määritettiin erikseen jokaiselle yhdistelmälle. Yhtälöistä nähdään, ettei käyttörajatilassa käytetä kuormakerrointa, eikä yhtälöissä esiinny osavarmuuslukuja kuten murtorajatilan yhtälöissä. Kaikissa käyttörajatilan yhdistelyissä pysyvät kuormat huomioidaan niiden ominaisarvojen suuruusina ja muuttuvat kuormat niiden edustavina arvoina. Huomioitavaa on, että pitkäaikaisyhdistelyssä huomioidaan ainoastaan muun muuttuvan kuorman edustava arvo.

<b>Yläarvot määräävän kuorman mukaan</b>					
<b>Ominaisyhdistelmä (palautumattomille rajatiloille)</b>					
$\Sigma G_k + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$					
<b>Tavallinen yhdistelmä (palautuville rajatiloille)</b>					
$\Sigma G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$					
<b>Pitkäaikaisyhdistelmä (pitkäaikaisvaikutuksille)</b>					
$\Sigma G_k + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$					
<b>Ala-arvot vain pysyvät kuormat huomioiden</b>					
$\Sigma G_k$					

Taulukko 6.2 Käyttörajan yhdistelyt

#### 5.4 Yhdistelykertoimen määrittäminen

Yhdistelykerroin  $\psi$  määräytyy rakennuksen tyypin mukaan, eli onko kysymyksessä esimerkiksi asuintila vai varastotila. Yhdistelykertoimia on kolme erilaista riippuen tarkasteltavasta aikajaksosta, ja jokaiselle kertoimelle on erilaisia arvoja riippuen rakennuksen tai rakenteen tyypistä. Yhdistelykertoimen valintaa selvittää taulukko 6.3.

Rakennuksen tyyppi					
Hyötykuormat			$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
A	Asuintila		0,7	0,5	0,3
B	Toimistotila		0,7	0,5	0,3
C	Kokoontumistila		0,7	0,7	0,3
D	Myymälätila		0,7	0,7	0,6
E	Varastotila		1	0,9	0,8
F	Liikennöitävä tila < 30 kN		0,7	0,7	0,6
G	Liikennöitävä tila 30...160 kN		0,7	0,5	0,3
H	Vesikatot		0	0	0
Lumikuorma maassa					
$S_k \leq 2,75 \text{ kN/m}^2$			0,7	0,4	0,2
$S_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$			0,7	0,5	0,2

Taulukko 6.3 Yhdistelykerroin  $\psi$  rakennuksen tyypin mukaan

## 5.5 Kuormakertoimen määrittäminen

Kuormakerroin  $K_{FI}$  määrittyy rakennuksen seuraamusluokan (CC) mukaan taulukon 6.4 mukaan. Rakennuksen luotettavuusluokka (RC) määrittää seuraamusluokan perusteella. Kuormakerroin vaikuttaa murtorajatilanteen yhdistelyssä suurentamalla tai pienentämällä kuormia eli kasvattamalla tai pienentämällä rakennuksen kokonaisvarmuutta.

Seuraamusluokka	Luotettavuusluokka	$K_{FI}$
CC3	RC3	1,1
CC2	RC2	1,0
CC1	RC1	0,9

Taulukko 6.4 Kuormakerroin seuraamusluokan mukaan

## 5.6 Seuraamusluokan määrittäminen

Rakennuksen seuraamusluokka määrittyy seuraamusten suuruuden mukaan. CC3 on suurin seuraamusluokka, ja CC1 on pienin. Seuraamuksilla tarkoitetaan ihmishenkien menetyksiä, taloudellisia ja sosiaalisia vahinkoja sekä ympäristöön kohdistuvia vahinkoja. Seuraamusluokan määrittelyperusteita voidaan tarkastella taulukoista 3.2 ja 3.4.

## 5.7 Kerrosvähennyksen laskenta

Kerrosvähennyksen pienennyskerroin  $\alpha_n$  suositussarvo lasketaan kaavalla:

$$\alpha_n = \frac{2 + (n-2)\psi_0}{n}$$

missä

$n$  on kuormitettujen kantavien osien yläpuolella olevien samaan luokkaan kuuluvien kerrosten lukumäärä ( $> 2$ ).

$\psi_0$  on standardin EN 1990 liitteen A1 taulukon A1.1 mukainen kerroin.

Kerrosvähennystä voidaan käyttää vain luokkien A-D rakennuksille ja tiloille, pilari- ja seinärakenteelle ja niiden perustuksille. Kerrosvähennystä ei sovelleta

yhdessä yhdistelykertoimen  $\psi$  tai pinta-alavähennyksen pienennystekijän  $\alpha_A$  kanssa. Ristiin soveltamisen kieltäminen yhdistelykertoimen kanssa johtuu siitä, että yhdistelykerroin esiintyy jo kuormitusyhdistelyissä. Mikäli käytetään kerrosvähennystä, täytyy yhdistelykerroin poistaa kuormitusyhdistelyistä. Excel-laskentapohjassa pienennyskerroin saa kerrosvähennystä käytettäessä yhtälöissä arvon yksi (1), jolloin se ei vaikuta kuormiin ja ”poistuu”. Näin käytetään siis vain muuttuvien kuormien ominaisarvoja, eikä edustavia arvoja.

Erityisesti huomioitavaa kerrosvähennyksen soveltamisessa on se, että sitä voidaan käyttää vain kuormitettavan rakenneosan yläpuolisille osille jotka kuuluvat luokkiin A-D. Jos siis kantavan pilarin yläpuolella on esimerkiksi viisi kerrostasoa, joista neljä on asuintiloja ja viides varastotila, ei varastotilan kuormia saa vähentää. Tämä on huomioitava sijoitettaessa kerroslukumäärä kaavaan. Lisäksi on hyvä huomioida, ettei kerrosvähennystä voi käyttää kuin yli kaksikerroksisille rakennuksille. Mikäli kerrosvähennyksen kaavaan sijoitetaan pienempi kerrosmäärä kuin kolme, on seurauksena kertoimen arvo yksi (1) tai suurempi arvo riippuen yhdistelykertoimen arvosta. Tällöin pienennyskerroin muuttuu suurennskertoimeksi, ja voidaan puhua kerroslisäyksestä. Seurauksena tällaisen kertoimen soveltamisesta laskentaan on kuormien kasvu. Sama seuraus on myös sovellettaessa kerrosvähennyksen pienennyskerrointa arvolla yksi (1), koska yhdistelykertoimet saavat myöskin tällöin arvon yksi (1).

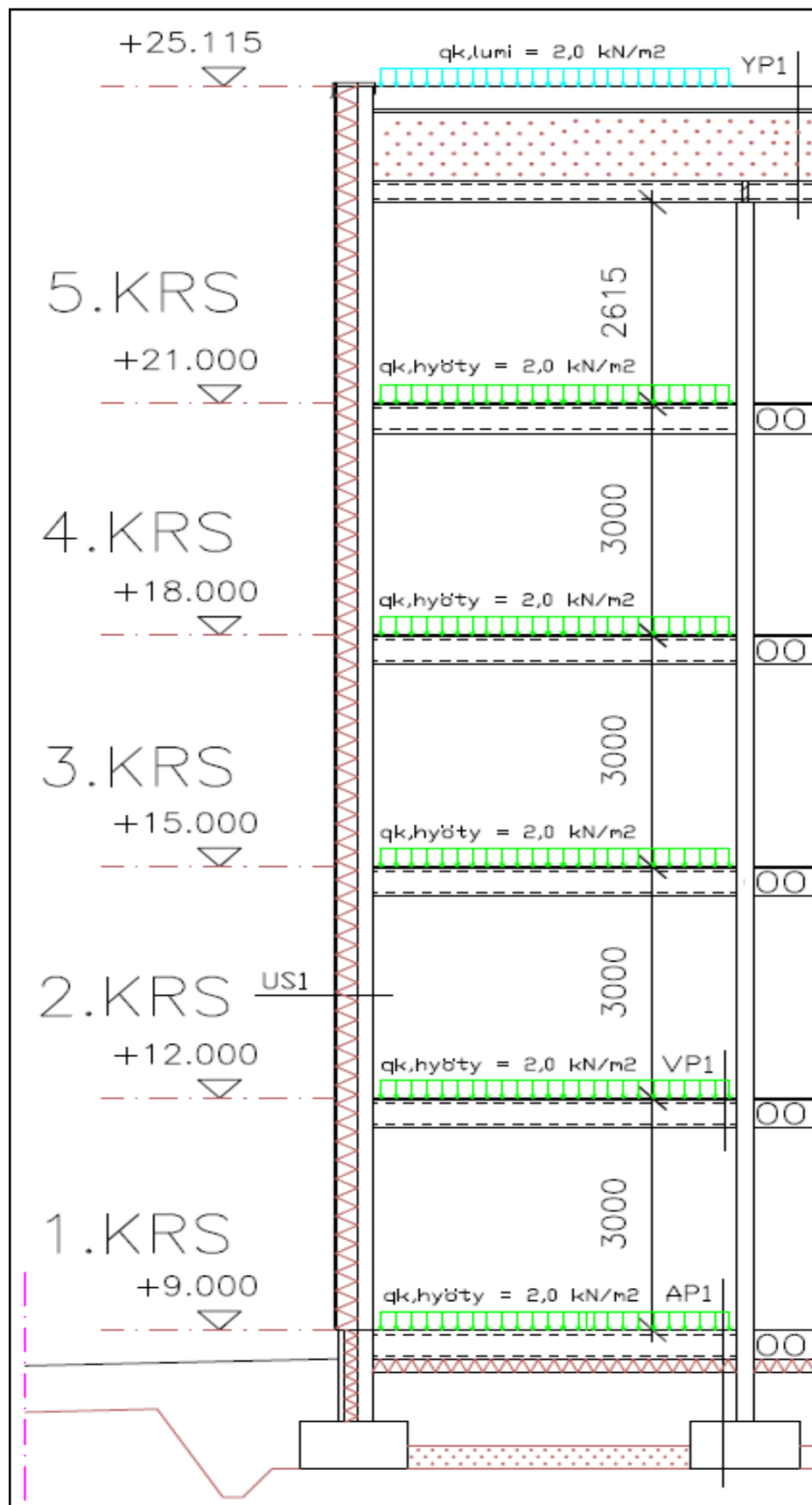
## **6 EXCEL-LASKENTAPOHJA**

Molempien runkojärjestelmien kuormat lasketaan samalla laskentapohjalla koska kuormitusyhdistelyt ovat runkojärjestelmistä riippumattomat. Pilari-palkkilaatta-järjestelmässä laskentaan on laadittu omat tabletit 1-15 -kerroksisille rakennuksille. Tabletti on erilainen käyttöliittymä lähtöarvojen määrittelyyn kuin seinät-laatta-järjestelmässä. Arvot kuitenkin viedään samaan peruslaskentaan.

Tässä luvussa esitetty Excel-laskennan toiminta ja käyttö on sidottu esimerkkilaskelmaan, joka on kokonaisuudessaan liitteenä (Liite 1). Luvun kuvat ja taulukot ovat otteita laskentapohjasta. Esimerkki ei ole oikea kohde vaan on laadittu mielikuvituksellinen demonstraatioksi. Laskentaesimerkin rakennus on 5-kerroksinen asuinkerrostalo, jossa ei ole kellaria. Esimerkissä lasketaan pysty-

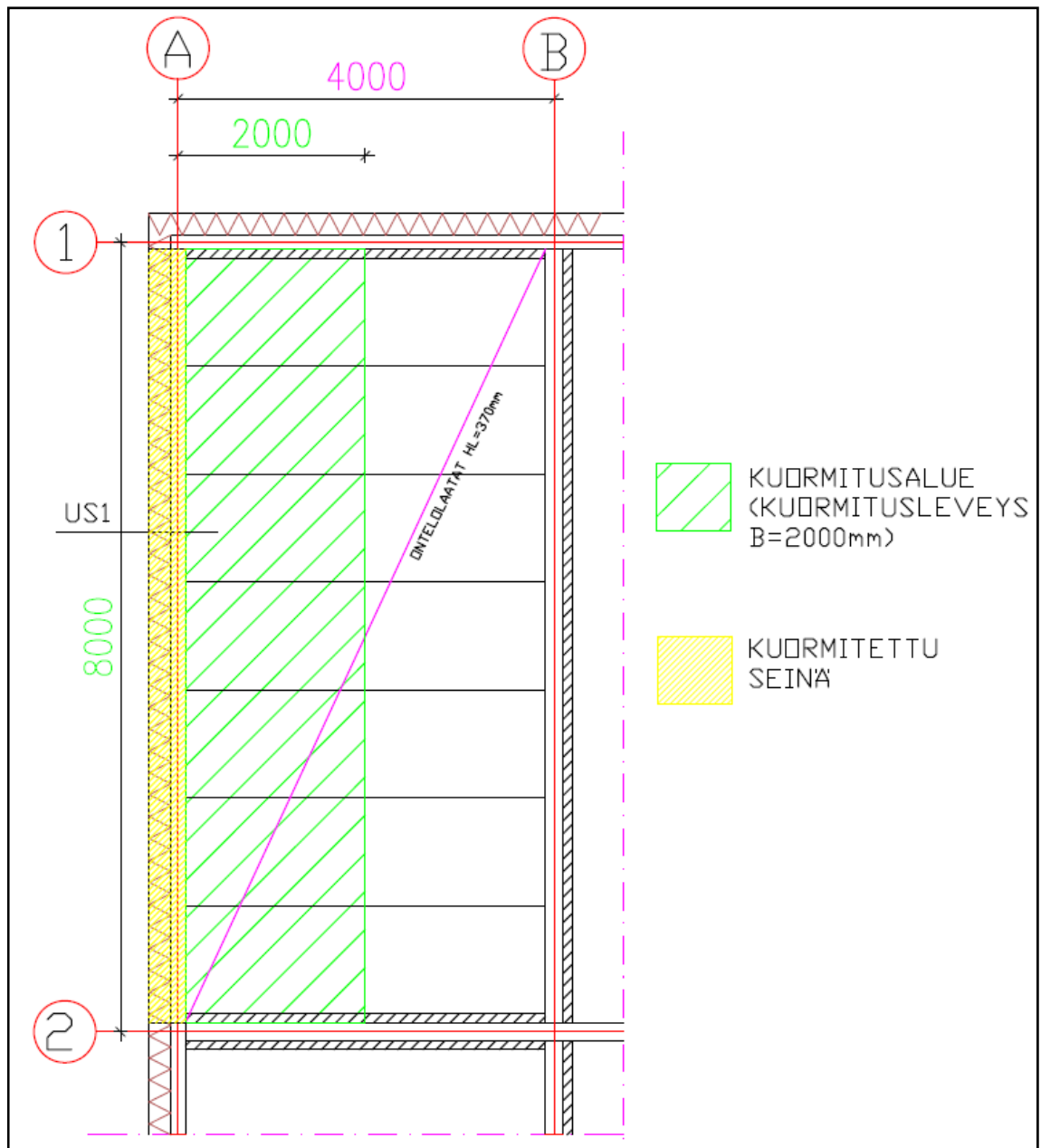
kuormat kantavalle ulkoseinälle kahden metrin kuormitusleveydeltä perustuksista yläpohjaan. Havainnollinen leikkaus esimerkkitalosta on esitetty kuvassa 7.1 ja tasopiirustus kuvassa 7.2.

Excel-laskenta aloitetaan syöttämällä tulosteen yhteenvetolomakkeeseen kohteen tiedot, jossa olennaista on määritellä ensin kuormalinja. Kuormalinjalla tarkoitetaan seinälinjaa, jolle kuormia lasketaan. Yleensä kuormalinja merkitään moduuliverkon perusteella, esimerkiksi "A/1...2" jolloin tarkoitetaan yhdensuuntaisesti moduulia A pitkin kulkevaa seinää, jota tarkastellaan kohtisuorassa olevien moduulien 1 ja 2 välillä. Esimerkin kuormalinja on esitetty kuvassa 7.2.



Kuva 7.1 Esimerkkitalon leikkaus





**Kuva 7.2 Esimerkkitalon kuormalinja A/1...2 tasopiirustuksessa**

Kohteen lähtötietojen (kohteen nimi, osoite, kuormalinja jne.) syötön jälkeen valitaan rakennuksen tyyppi, kerrosmäärä ja lumikuorma maassa. Lisäksi valitaan, käytetäänkö laskennassa kerrosvähennystä vai ei. Lumikuormaa valittaessa valitaan, onko lumikuorma suurempi vai pienempi kuin  $2,75 \text{ kN/m}^2$ . Tällä on merkitystä kertoimen  $\psi_1$  määrittämisessä, joka saa valinnasta riippuen arvon 0,4 tai 0,5. Näiden valintojen perusteella määräytyvät kuormakerroin  $K_{FI}$  sekä kerrosvähennys  $\alpha_n$ . Kerrosvähennyksen kerroin näyttää, millä arvolla hyötykuormia pienennetään. Lähtötiedoissa on myös mahdollista valita rakennuksen

seuraamusluokka manuaalisesti, mikä määrittää kuormakertoimen. Jos kuitenkin valitaan yli 8 kerrosta, määrittää laskenta automaattisesti rakennuksen seuraamusluokkaan CC3 ja nostaa kuormakertoimen arvoon 1,1.

Inststo Ylimäki & Tinkanen Oy		<b>Kuormituslaskelma</b>		<b>Seinät-laatta</b>	
		Tekijä:	Jari Närvänen	Sivu:	1 (2)
		Päiväys:	19.4.2011		
<b>Rakennuskohde:</b>	<b>Työ no:</b>	<b>Osoite:</b>	<b>Kuormalinja:</b>		
Mallitalo	00001		A/1...2		
Talo A					
<b>Kuormitukset kerroksittain ja linjoittain</b>					Versio 1.0

<b>Rakennuksen tyyppi</b>	<b>Seuraamusluokka</b>	<b>Pienennyskerroin <math>\alpha_n</math></b>
Asuintila ▼	CC2 ▼	0,820
<b>Kerroksia</b>	<b>Lumikuorma maassa</b>	<b>Kerrosvähennys</b>
5 ▼	Sk ≤ 2,75 kN/m <sup>2</sup> ▼	Ei käytetä ▼
<b>Kuormakerroin <math>K_{FI}</math></b>	<b>Suurimmat kuormat</b>	<b>Suurimmat kuormat</b>
1	<b>Σ Murtorajatila [kN/m]</b>	<b>Σ Käyttörajatila [kN/m]</b>
	STR 135	ominais 110
	EQU 131	tavallinen 98
	GEO 116	pitkäaikainen 86
	ONN. 102	

Kuva 7.3 Lähtötietojen määrittely

## 6.1 Seinät-laatta

Seinät-laatta-runkojärjestelmässä laskenta aloitetaan siirtymällä laskentasivulle syöttämään lähtöarvoja. Kuormat syötetään kerroksittain suunnittelijan laskemina viivakuormina (metrikuormina). Viivakuorman päädyttiin tasokuorman määrittelyn sijaan selvyyden vuoksi, sillä tasokuormaa (neliökuormaa) varten täytyy määritellä kuormitusala. Katsottiin selkeämmäksi menetelmäksi väärinkäsityksi- en välttämiseksi käyttää suoraan suunnittelijan määrittelemää viivakuormaa. Haittapuolena tässä on syötetyn viivakuorman suuruusluokkatarkastelu, sillä laskelmia tarkistettaessa ei viivakuorman suuruus kerro juuri mitään kuormituk- sien oikeellisuudesta. Jos syötettäisiin tasokuormia, voitaisiin niitä vertailla suo- raan standardien kuormitustaulukoiden antamiin arvoihin. On kuitenkin mahdol- lista esittää tarpeen vaatiessa erilliset laskelmat viivakuormien määrittämiseksi, kuten tässä esimerkissä on tehty. Myöhemmin laajemman käyttökokemuksen jälkeen, mikäli katsotaan käytännölliseksi ja laskentapohjaa halutaan kehittää, voidaan siihen lisätä viivakuorman laskenta kuormitusleveyyden ja neliökuormien

funktiona sekä seinän omapaino ”kuormituskorkeuden” ja neliöpainon funktiona. Tässä esimerkissä ominaispainojen laskelmat on esitetty kuvassa 7.4.

RAKENNETYYYPIT JA OMINAISPAINOT							
YP1	Kuormitusleveys [m]		2	US1 (h=1m)	Kuormituskorkeus [m]		1
Rakenne	h [mm]	g [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>g<sub>k</sub> [kN/m]</b>	Rakenne	d [mm]	g [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>g<sub>k</sub> [kN/m]</b>
Tasausbetoni	40	100	2,00	Teräsbetoni	150	375	3,75
Kevytsoora	800	240	4,80	Villa + muut	250	25	0,25
P27 OL	265	380	7,60	Yht.		400	4,00
Yht.		720	14,4				
VP1	Kuormitusleveys [m]		2	US1 (h=3m)	Kuormituskorkeus [m]		3
Rakenne	h [mm]	g [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>g<sub>k</sub> [kN/m]</b>	Rakenne	d [mm]	g [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>g<sub>k</sub> [kN/m]</b>
Tasausbetoni	15	40	0,80	Teräsbetoni	150	375	11,25
P37 OL	370	510	10,20	Villa + muut	250	25	0,75
Yht.		550	11,00	Yht.		400	12,00
AP1	Kuormitusleveys [m]		2	US1 (h=4,1m)	Kuormituskorkeus [m]		4,1
Rakenne	h [mm]	g [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>g<sub>k</sub> [kN/m]</b>	Rakenne	d [mm]	g [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>g<sub>k</sub> [kN/m]</b>
Tasausbetoni	15	40	0,80	Teräsbetoni	150	375	15,38
P37 OL	370	510	10,20	Villa + muut	250	25	1,03
Yht.		550	11,00	Yht.		400	16,40
Perustus							
Rakenne			<b>g<sub>k</sub> [kN/m]</b>				
Perusmuuri		700	7,00				
Antura		1500	15,00				
Yht.		2200	22,00				

**Kuva 7.4 Rakennetyyppien ominaispainot**

Kerrostasojen tarkastelun helpottamiseksi kerroksen viereen on mahdollista syöttää kerrostason korkeusasema, eli sen pinnan korkeusasema, jossa kuormat vaikuttavat. Koska kellari katsotaan yhdeksi kerrokseksi, jatkuvat maanpäälliset kerrokset neljääntoista asti jolloin laskentaa voidaan käyttää enintään 15-kerroksisille rakennuksille. Perustustasolle on myös oma laskentarivi perustuksien omapainoja ja alapohjarakenteita varten, jotta voidaan määrittää perustuksien alapinnassa vaikuttava eli maahan välittyvä rakennuksen kokonaiskuorma.

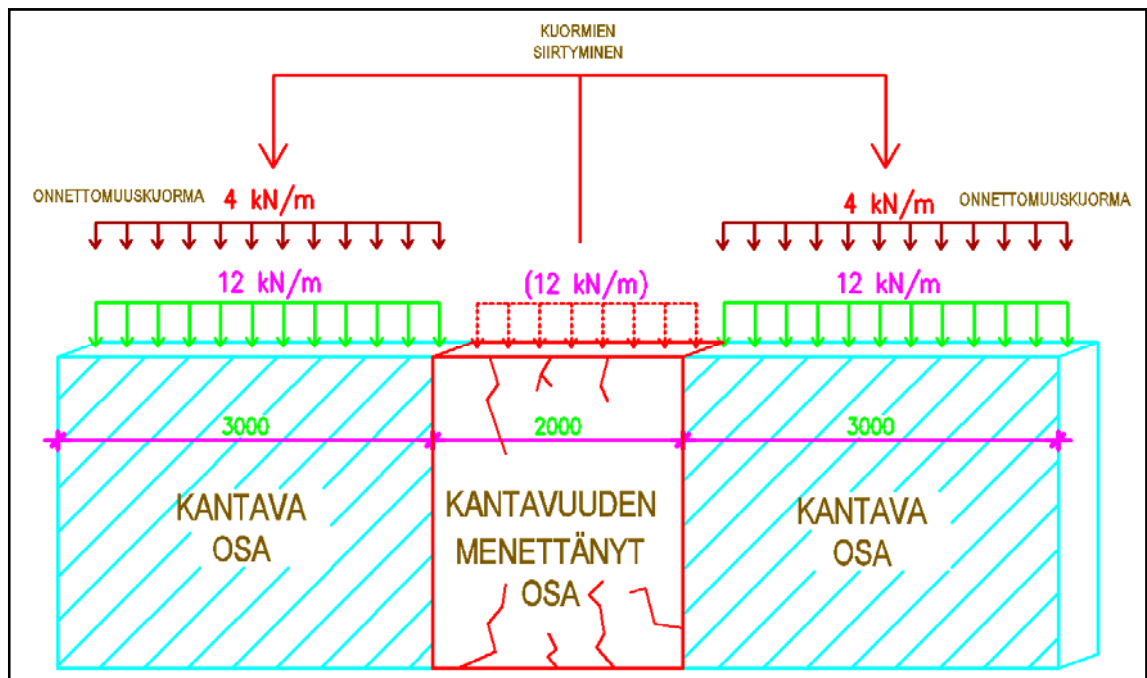
Lähtöarvoihin on varattu kaksi paikkaa pysyville kuormille ja kolme paikkaa muuttuville kuormille. Onnettomuuskuorma voidaan syöttää sille erikseen vara-

tulle paikalle. Pysyviksi kuormiksi voidaan syöttää  $g_k$  jolla tarkoitetaan rakenteiden omapainoja ja  $g_{k,lisä}$  joka on varattu erilaisia pysyviä lisäkuormia kuten esimerkiksi hormoneja varten. Nämä eivät tee laskennassa mitään eroa, vaan summataan keskenään. Muuttuviksi kuormiksi voidaan syöttää  $q_{k,lumi}$  eli lumikuorma,  $q_{k,hyöty}$  eli hyötykuorma ja  $q_{k,lisä}$  eli jokin muu muuttuva lisäkuorma. Kaksi edellistä eivät eroa mitenkään laskennassa, vaan summataan keskenään. Kuormitusyhdistelyissä siis  $q_{k,lisä}$  summataan hyötykuormaan  $q_{k,hyöty}$  jolloin toiseksi tarkasteltavaksi kuormatyyppi jää lumikuorma. Tällöin saadaan aikaan kaksi muuttuvan kuorman kuormituskomponenttia kuormitusyhdistelyihin. Lisäkuorma ei siis luo omaa yhdistelyä. Vastaavalla tavalla summataan pysyvien kuormien lisäkuorma  $g_{k,lisä}$  pysyvien kuormien arvoon  $g_k$ . Lumikuorma vaikuttaa yleensä vain ylimmässä tasossa, mutta sille on varattu paikka jokaiseen tasoon, koska rakennuksen kerrosmäärä vaihtelee laskentaan sovellettavan kohteen mukaan. Onnettomuuskuorma vallitsee yleensä alimmassa tasossa (törmäys pilariin tai seinään), mutta voi vaikuttaa myös jossain muualla esimerkiksi tulipalon tai ilma-aluksen törmäyksen sattuessa.

LÄHTÖARVOT										
KUORMALINJA		KUORMAT					OMINAISARVOT			
A/1...2		PYSYVÄT		MUUTTUVAT			ONNETT.	Kuormat		
kerros	taso	$g_k$	$g_{k,lisä}$	$q_{k,lumi}$	$q_{k,hyöty}$	$q_{k,lisä}$	$A_d$	$\Sigma g_k$	$\Sigma q_{k,hyöty}$	$\Sigma q_{k,lumi}$
14.								0,0	0,0	0,0
13.								0,0	0,0	0,0
12.								0,0	0,0	0,0
11.								0,0	0,0	0,0
10.								0,0	0,0	0,0
9.								0,0	0,0	0,0
8.								0,0	0,0	0,0
7.								0,0	0,0	0,0
6.								0,0	0,0	0,0
5.	+21.000	16,4	14,4	4,0				16,4	0,0	4,0
4.	+18.000	12,0	11,0		4,0			12,0	4,0	0,0
3.	+15.000	12,0	11,0		4,0			12,0	4,0	0,0
2.	+12.000	12,0	11,0		4,0			12,0	4,0	0,0
1.	+9.000	12,0	11,0		4,0		4,0	12,0	4,0	0,0
Kellari								0,0	0,0	0,0
Perustus		22,0	11,0		4,0			22,0	4,0	0,0
YHTEENSÄ		86	69		20	0		86	20	4

Kuva 7.5 Lähtöarvojen määrittely seinät-laatta-runkojärjestelmässä

Onnettomuuskuorma  $A_d$  merkitsee ainoastaan onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelyissä. Onnettomuuskuorma voidaan lisätä laskentaan omaan sarakkeeseensa. Se voi olla esimerkiksi kantavan seinän lisäkuormitus jonkin sen osan menettäessä kantavuuttaan paikallisen vaurion sattuessa. Tällöin kantamattomaksi osaksi muuttuneen kohdan kuormat siirtyvät eri reittejä (rakenteiden sidejärjestelmät) pitkin kantaviksi jääneille osille. Kuvassa 7.6 on esitetty havainnepiirros kuormien siirtymisestä onnettomuustilanteessa. Kuvan normaalitilanteessa seinään vaikuttaa 12 kN/m suuruinen viivakuorma, joka jakautuu kantamattomalta osalta kantaville osille. Tällöin nimenomaisessa tilanteessa seurauksena on 4 kN/m suuruinen onnettomuuskuorma  $A_d$ , joka lisätään alkuperäiseen kuormitukseen 12 kN/m. Tällöin seinään vaikuttaa yhteensä 16 kN/m suuruinen viivakuorma.



Kuva 7.6 Havainnekuva kuormien siirtymisestä onnettomuustilanteessa

## 6.2 Murtorajatilan arvot

Murtorajatilan ylä- ja ala-arvot määräytyvät lähtötietojen ja lähtöarvojen perusteella taulukon 6.1 yhtälöiden mukaan. Laskentapohja näyttää kuormitukset ta-soissa ja kumulatiivisesti, sekä alimpana perustuksilta maahan siirtyvän kuorman. Kuvassa 7.7 näytetään punaisella suurimmat kuormat ja vihreällä pienim-

mät arvot. Geo-arvot näkyvät vain perustuksilla, sillä niitä ei ole tarpeen näyttää muissa kerrostasoissa niiden soveltuessa ainoastaan perustuksille.

### 6.3 Käyttörajan arvot

Käyttörajan arvot määräytyvät lähtötietojen ja lähtöarvojen perusteella taulukon 6.2 yhtälöiden mukaan, ja näkyvät kerroksittain ja kumulatiivisesti kuten murtorajan arvot. Kuvassa 7.8 on esitetty käyttörajan yhdistelyjen kuormitustapausten suurimmat arvot punaisella ja pienimmät arvot vihreällä.

MURTORAJATILA									
YLÄARVOT						ALA-ARVOT			
EQU		STR		ONNETT.		GEO			
$\Sigma p_{d,EQU}$	Kumul.	$\Sigma p_{d,STR}$	Kumul.	$\Sigma p_A$	Kumul.	$\Sigma p_{d,GEO}$	$0,9\Sigma G_k$	Kumul.	
0	0	0	0	0	0		0	0	
0	0	0	0	0	0		0	0	
0	0	0	0	0	0		0	0	
0	0	0	0	0	0		0	0	
0	0	0	0	0	0		0	0	
0	0	0	0	0	0		0	0	
0	0	0	0	0	0		0	0	
0	0	0	0	0	0		0	0	
0	0	0	0	0	0		0	0	
24	24	25	25	18	18		15	15	
19	43	20	45	14	32		11	26	
19	62	20	64	14	46		11	36	
19	82	20	84	14	60		11	47	
19	101	20	104	18	78		11	58	
0	101	0	104	0	78		0	58	
30	131	31	135	24	102	116	20	78	
	131		135		102	116		78	

Kuva 7.7 Murtorajan ylä- ja ala-arvot laskentapohjassa

KÄYTTÖRAJATILA							
YLÄARVOT						ALA-ARVOT	
Ominais		Tavallinen		Pitkäaikainen			
$\Sigma p_{k,om}$	Kumul.	$\Sigma p_{k,tav}$	Kumul.	$\Sigma p_{k,pit}$	Kumul.	$\Sigma G_k$	Kumul.
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
20	20	18	18	16	16	16	16
16	36	14	32	12	28	12	28
16	52	14	46	12	40	12	40
16	68	14	60	12	52	12	52
16	84	14	74	12	64	12	64
0	84	0	74	0	64	0	64
26	110	24	98	22	86	22	86
	110		98		86		86

Kuva 7.8 Käyttörajan ylä- ja ala-arvot laskentapohjassa

#### 6.4 Murtorajatilan kuormitustapaukset

Laskenta suoritetaan luvun 6 mukaisesti. Laskenta suorittaa EQU- ja GEO-yhdistelyissä kaksi kuormitustapausta, joista toisessa lumikuorma on määräävä ja toisessa hyötykuorma. Laskenta vertailee tuloksia, valitsee niistä suurimman ja tuo sen murtorajatilan arvoihin (kuva 7.9). STR-yhdistelyssä joudutaan suuruusvertailuun ottamaan mukaan myös tapaus  $1,35K_{FI}\Sigma G_k$ , jolloin ainoastaan pysyvät kuormat vaikuttavat tulokseen. Ala-arvo määräytyy pienentämällä pysyviä kuormia kertoimella 0,9.

Onnettomuusrajatilassa joudutaan laskemaan neljä eri kuormitustapausta, koska yhdistelyjä on kaksi ja molemmissa joudutaan sijoittamaan vuorottain lumi- ja hyötykuormat määrääviksi kuormiksi.

		MURTORAJATILA						
		EQU			STR			
kerros	taso	$0,9\Sigma G_k$	hyöty	lumi	$0,9\Sigma G_k$	$1,35K_{FI}\Sigma G_k$	hyöty	lumi
14.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
13.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
12.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
11.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
10.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
9.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
8.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
7.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
6.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
5.	+21.000	14,76	22,24	24,04	14,76	22,14	23,06	24,86
4.	+18.000	10,80	19,20	17,40	10,80	16,20	19,80	18,00
3.	+15.000	10,80	19,20	17,40	10,80	16,20	19,80	18,00
2.	+12.000	10,80	19,20	17,40	10,80	16,20	19,80	18,00
1.	+9.000	10,80	19,20	17,40	10,80	16,20	19,80	18,00
Kellari		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Perustus	+7.000	19,80	30,20	28,40	19,80	29,70	31,30	29,50

Kuva 7.9 Murtorajatilan EQU ja STR ylä- ja ala-arvoja eri kuormitustapauksissa

## 6.5 Käyttörajatilan kuormitustapaukset

Käyttörajatilan yhdistelyt suoritetaan luvun 6 mukaisesti. Laskenta suorittaa jokaisessa kuormitusyhdistelyssä kaksi kuormitustapausta, joissa lumi- ja hyötykuorma vuorottelevat määräävänä kuormana. Näin saadaan esille suurin arvo, joka viedään käyttörajatilan arvoihin. Pitkäaikaistarkastelussa huomioidaan ainoastaan muu kuorma luvussa 6 esitetyn yhtälön mukaan. Ala-arvo on ainoastaan pysyvien kuormien ominaisarvojen summa.



		KÄYTTÖRAJATILA								
		ominais			tavallinen			pitkäaikainen		
kerros	taso	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi
14.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5.	+21.000	16,40	19,20	20,40	16,40	17,20	18,00	16,40	16,40	17,20
4.	+18.000	12,00	16,00	14,80	12,00	14,00	13,20	12,00	13,20	12,00
3.	+15.000	12,00	16,00	14,80	12,00	14,00	13,20	12,00	13,20	12,00
2.	+12.000	12,00	16,00	14,80	12,00	14,00	13,20	12,00	13,20	12,00
1.	+9.000	12,00	16,00	14,80	12,00	14,00	13,20	12,00	13,20	12,00
Kellari		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Perustus	+7.000	22,00	26,00	24,80	22,00	24,00	23,20	22,00	23,20	22,00

Kuva 7.10 Käyttörajan ylä- ja ala-arvoja eri kuormitustapauksissa ja eri yhdistelyissä

## 6.6 Laskennan yhteenveto

Lähtötietojen ja lähtöarvojen syötön jälkeen laskennan tulokset näkyvät etusivun yhteenvedossa. Laskennan yhteenveto on esitetty kuvassa 7.11. Etusivulla näkyvät suurimmat kuormitukset kerroksittain sekä kumulatiivisesti murtorajatilan neljältä yhdistelyltä (EQU, STR, ONNETT, GEO), sekä kolmelta käyttörajan yhdistelyltä (ominais-, tavallinen, pitkäaikainen). Alhaalla punaisella näkyy perustuksille tuleva suurin kuorma punaisella (MAX) sekä vertailun vuoksi pienin kuorma vihreällä (MIN). Alin rivi delta ( $\Delta$ ) esittää kuormien vaihteluvälin, eli suurimman ja pienimmän kuorman erotuksen kyseisessä yhdistelyssä perustuksilla. Pienin arvo näkyy siis etusivulla ainoastaan perustuksilta, muiden kerrostasojen pienimpiä arvoja voidaan tarkastella laskentasivuilta. Kuvan 7.11 mukainen yhteenveto on mahdollista näyttää myös pilari-palkki-laatussa, koska käytettävä pohjalaskenta on sama.

KANTAVILLA SEINILLÄ VAIKUTTAVIEN KUORMIEN YLÄÄRVOT [kN/m]														
Kerros	Murtorajatila							Käyttörajatila						
	EQU		STR		Onnett.		GEO	Ominais		Tavallinen		Pitkäaikainen		
	$\Sigma p_{d,EQU}$	Kumul	$\Sigma p_{d,STR}$	Kumul	$\Sigma p_A$	Kumul	$\Sigma p_{d,GEO}$	$\Sigma p_{k,om}$	Kumul	$\Sigma p_{k,tav}$	Kumul	$\Sigma p_{k,pit}$	Kumul	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	24	24	25	25	18	18	0	20	20	18	18	16	16	
4	19	43	20	45	14	32	0	16	36	14	32	12	28	
3	19	62	20	64	14	46	0	16	52	14	46	12	40	
2	19	82	20	84	14	60	0	16	68	14	60	12	52	
1	19	101	20	104	18	78	0	16	84	14	74	12	64	
KEL	0	101	0	104	0	78	0	0	84	0	74	0	64	
PER	30	131	31	135	24	102	116	26	110	24	98	22	86	
MAX	131		135		102		116	110		98		86		
MIN	78		78		78		78	86		86		86		
Δ	53		58		24		38	24		12		0		

MAX

MIN

Δ

Perustuksilla vaikuttavan kuorman yläarvo

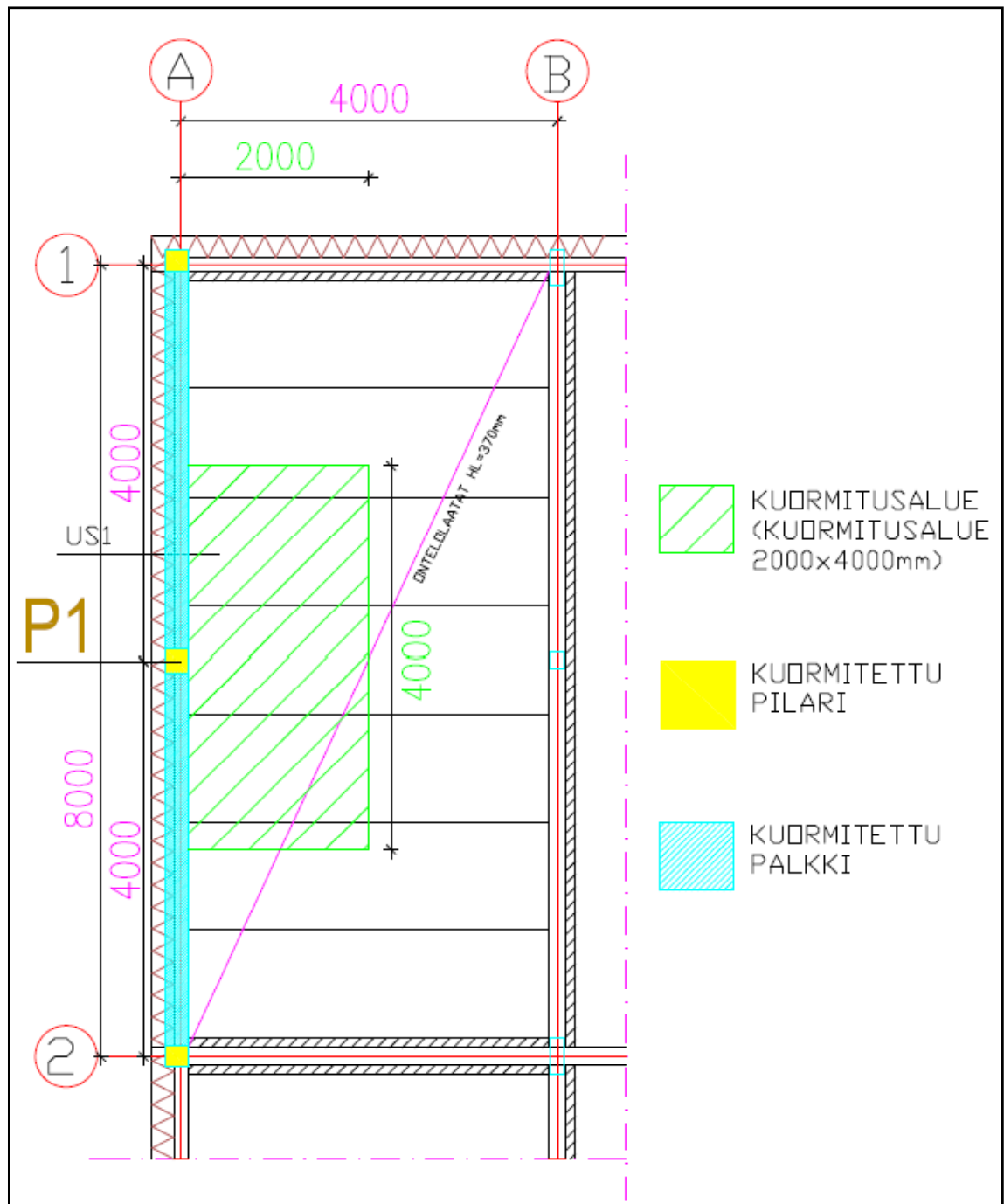
Perustuksilla vaikuttavan kuorman ala-arvo

Perustuksilla vaikuttavan kuorman vaihteluväli raja-arvojen mukaan

Kuva 7.11 Laskennan yhteenveto

## 6.7 Pilari-palkki-laatta

Esimerkkinä toimii tässä sama talo kuin seinät-laatta-runkojärjestelmässä, mutta kantavan seinän paikalle on suunniteltu neljän metrin jaolla pilarit, joiden päälle tukeutuvat yksiaukkoiset päistään vapaasti tuetut palkit. Ontelolaatasto tukeutuu palkkien päälle ja näin tasokuormat siirtyvät palkkien välityksellä pila-reille. Kuormitusaluetta on selvennetty kuvassa 7.12 ja havainnekuvassa 7.17.



**Kuva 7.12 Pilari-palkki-laatta-esimerkin kuormitusalue**

Käyttöliittymässä on mahdollisuus syöttää palkin ja pilarin omapainot niille erikseen varatuille paikoille. On huomattava, että myös palkin omapaino syötetään pistekuormana, jolloin suunnittelija joutuu sen itse määrittämään palkin pituuden ja metripainon suhteen. Pilarin omapainon kohdalla menetellään samoin. Tässä esimerkissä välipohjalaatastoon on valittu deltapalkki D37-400 ja pilariksi 400 x 400 mm teräsbetonipilari. Rakenneosat ovat samat jokaisessa kerroksessa.

Likimääräiset omapainot on esitetty kuvassa 7.13. Muut omapainot ovat samat kuin aiemman runkojärjestelmän esimerkissä.

Kuormitusyhdistelyt ovat samat, joten voidaan soveltaa samaa pohjalaskentaa kuin seinät-laatassa. Käyttöliittymäksi on kuitenkin laadittu havainnollisempi taulukko, johon lähtöarvot syötetään.

Pilarien kuormien laskenta aloitetaan valitsemalla etusivulta lähtötiedot ja valitsemalla kuinka monta kerrosta kyseessä olevassa rakennuksessa on. Valinnan mukaan siirtyy käyttäjä oikeaan tablettiin, koska jokaiselle kerrosmäärälle on oma laskentatabletti. Etusivusta on esitetty ote kuvassa 7.14. Tässä esimerkissä kyseessä on viisikerroksinen talo, joten käytetään viisikerroksiselle tarkoitettua tablettia. Koska esimerkkitalossa ei ole kellaria, käytetään kerrosmäärälle arvoa viisi (5). Erityisen tarkkana on oltava kellarillisissa taloissa, koska esimerkiksi viisikerroksiselle tarkoitettu tabletista löytyy kellarin laskentamahdollisuus. Tällöin täytyy kerrosmäärä huomata muuttua yhtä suuremmaksi. Käyttäjän vastuulla onkin suureksi osaksi kerrosmäärien oikea tulkinta, koska laskenta itsessään ei syötettyjen kuormitusarvojen perusteella voi tietää kerrosmäärää.

PALKKI D37-400		TB-PILARI 400x400mm	
Metripaino ~	400 kg/m	Metripaino	400 kg/m
Kuormittava pituus	4 m	Korkeus	3 m
Omapaino	1600 kg	Omapaino	1200 kg
$G_{k,palkki}$	16 kN	$G_{k,pilari}$	12 kN

**Kuva 7.13 Palkin ja pilarin omapainot pistekuormina**

Inststo Ylimäki & Tinkanen Oy		<b>Kuormituslaskelma</b>		<b>Pilari-palkki-laatta</b>																			
		Tekijä:	Jari Närvänen	Sivu:	1 (2)																		
Päiväys:		19.4.2011																					
<b>Rakennuskohde:</b>	<b>Työ no:</b>	<b>Osoite:</b>	<b>Kuormalinja:</b>																				
Mallitalo	00001		A/1...2																				
Talo A																							
<b>Kuormitukset kerroksittain ja linjoittain</b>				Versio 1.0																			
<b>Rakennuksen tyyppi</b>		<b>Seuraamusluokka</b>		<b>Kuormakerroin <math>K_{FI}</math></b>																			
Asuintila ▼		CC2 ▼		1																			
<b>Kerroksia</b>		<b>Lumikuorma maassa</b>		<b>Kerrosvähennys</b>																			
5 ▼		Sk ≤ 2,75 kN/m <sup>2</sup> ▼		Ei käytetä ▼																			
1 KERROS		6 KERROSTA		11 KERROSTA																			
2 KERROSTA		7 KERROSTA		12 KERROSTA																			
3 KERROSTA		8 KERROSTA		13 KERROSTA																			
4 KERROSTA		9 KERROSTA		14 KERROSTA																			
5 KERROSTA		10 KERROSTA		15 KERROSTA																			
<b>Suurimmat kuormat</b> <table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Σ Murtorajatila [kN/m]</b></td> </tr> <tr> <td>STR</td> <td>661</td> </tr> <tr> <td>EQU</td> <td>639</td> </tr> <tr> <td>GEO</td> <td>568</td> </tr> <tr> <td>ONN.</td> <td>496</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Σ Käyttörajatila [kN/m]</b></td> </tr> <tr> <td>ominais</td> <td>546</td> </tr> <tr> <td>tavallinen</td> <td>496</td> </tr> <tr> <td>pitkäaikainen</td> <td>477</td> </tr> </table>						<b>Σ Murtorajatila [kN/m]</b>		STR	661	EQU	639	GEO	568	ONN.	496	<b>Σ Käyttörajatila [kN/m]</b>		ominais	546	tavallinen	496	pitkäaikainen	477
<b>Σ Murtorajatila [kN/m]</b>																							
STR	661																						
EQU	639																						
GEO	568																						
ONN.	496																						
<b>Σ Käyttörajatila [kN/m]</b>																							
ominais	546																						
tavallinen	496																						
pitkäaikainen	477																						

Kuva 7.14 Pilari-palkki-laatta-laskentapohjan etusivu

Lähtöarvoissa määritellään kuormitusalueen (alue, jolta syötetyt kuormat tulevat kuormitetulle pilarille) parametrit A ja B eli leveys ja pituus. Näiden tulona saadaan kuormitusala, jolta ohjelma laskee annetut kuormat. Näitä kuormia ovat pysyvät ja muuttuvat kuormat sekä onnettomuuskuorma. Erona seinät-laatan lähtöarvoihin pilari-palkki-laattaassa syötetään kuormat tasokuormina (neliökuormina), viivakuormina (metrikuorma) ja pistekuormina. Onnettomuuskuorma merkitään suoraan pistekuormana (kN), jolloin se ei ole sidottu kuormitusalan parametreihin. Tällöin voi suunnittelija itse määritellä suoraan onnettomuuskuorman pilarille tapauskohtaisesti.

Jokaiselle kerrokselle on mahdollista syöttää lumikuorma. Näin on menetelty sellaisten rakennusten varalta, joissa yläpohjia esiintyy useissa tasoissa. Alimmassa kerroksessa on esitetty GEO-arvot perustusten suunnittelua varten.

Laskennan tuloksia voidaan tarkastella suoraan lähtöarvotabletilta, jossa näkyy pilarille kohdistuvat suurimmat ja pienimmät kuormat käsitellyissä kuormitusyhdistelyissä. Tulokset näkyvät erikseen tasosta syntyvinä kuormina ja erikseen

kerrostaosossa tarkasteltavalle pilarille (kumulatiivisesti). Lisäksi näkyy yhteenve-  
tona kaikista yhdistelyistä suurin ja pienin arvo pilarin tunnuksen alla. Käyttöliit-  
tymästä on esitetty ote kuvassa 7.15 ja 7.16.

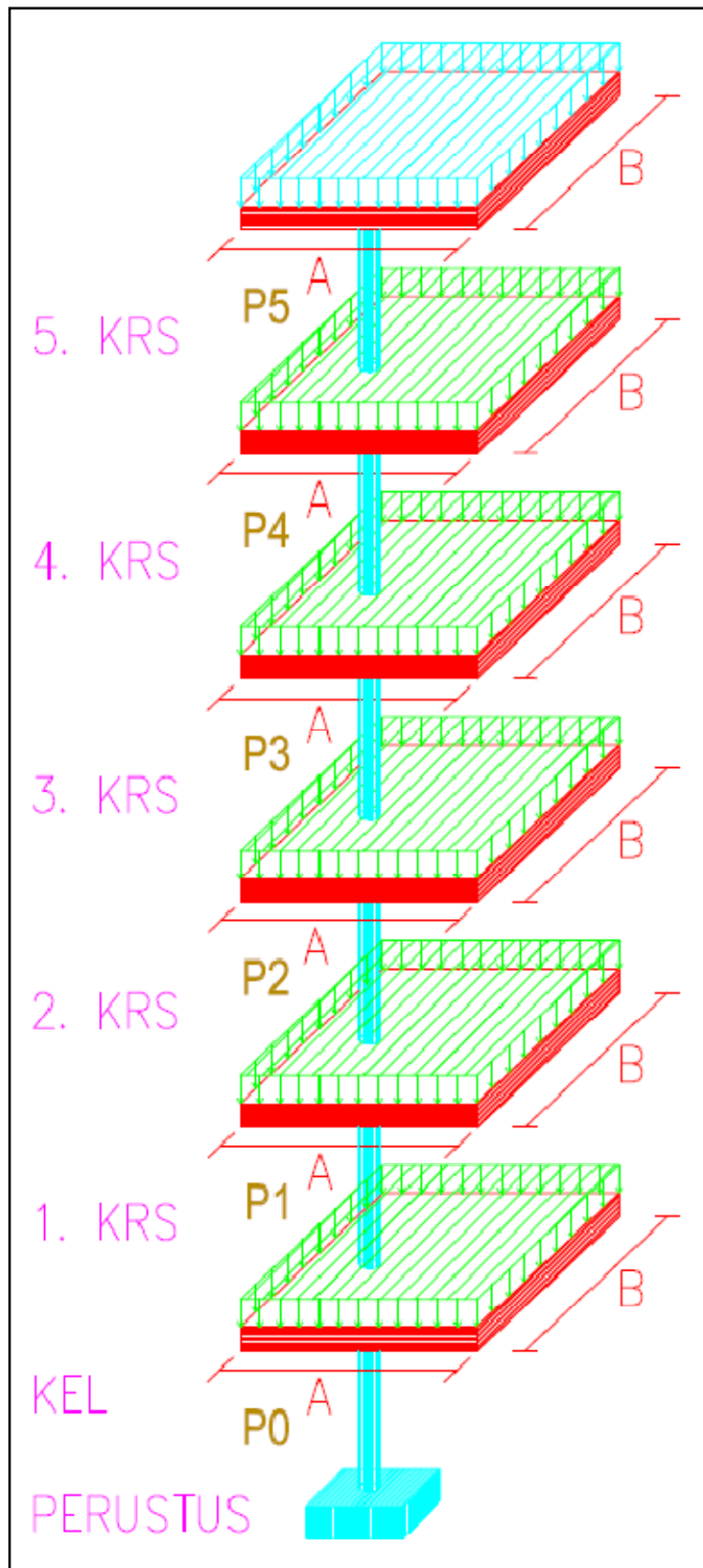
Kerroksittainen pilarien kuormitusten laskenta tällä tavalla on edullinen tapa et-  
siä mitoittavat kuormat sellaisille rakennuksille, joissa esiintyy paljon rakentei-  
den identtistä toistoa, eli kerroksien kuormitusalat, välipohjat, pilarit ja pilarien  
paikat ovat samat. Laskentapohjalla saadaan nopeasti selville pilareille tulevien  
kuormien suuruusluokat ja voidaan päättää, mikä pilari mitoitetaan milläkin  
kuormalla. Yleensä pienemmissä kohteissa päädytään mitoittamaan kaikki pila-  
rit suurimman kuorman mukaan jolloin ratkaisu on yksinkertainen, helppo ja  
varma.

KUORMAT									
Sinisiin ruutuihin syötetään lähtöarvot					Punainen = yläarvo				
Esim. Neljännen kerroksen pilarille P4 syötetään viidenneltä kerrokselta tulevat kuormat leveyksiltä A ja B.					Vihreä = ala-arvo				
5.KRS	+21.000	Kuormitusleveys		Kuormat		PILARILLE			
P5		A	2 m	$g_k$	7,2 kN/m <sup>2</sup>	$g_k$	86	kN	
MAX		B	4 m	$g_{k,lisä}$	kN/m <sup>2</sup>				
122	kN			$G_{k,palkki}$	16,0 kN				
MIN				$G_{k,pilari}$	12,0 kN				
77	kN								
		$A_d$	kN	$q_{k,hyöty}$	kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,hyöty}$	0	kN	
				$q_{k,lumi}$	2,0 kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,lumi}$	16	kN	
				$q_{k,lisä}$	kN/m <sup>2</sup>				
TASOSSA					PILARILLE				
				Max	Min	Max	Min		
KRT	ominais			102	86 kN	102	86	kN	
	tavallinen			92	86 kN	92	86	kN	
	pitkäaikais			89	86 kN	89	86	kN	
MRT	EQU			118	77 kN	118	77	kN	
	STR			122	77 kN	122	77	kN	
	ONN.			92	77 kN	92	77	kN	

Kuva 7.15 Ote pilari-palkki-laatta-käyttöliittymästä, viides kerros

PER	+7.000	Kuormitusleveys		Kuormat		PILARILLE			
P-ANT		A	2 m	$g_k$	5,5 kN/m <sup>2</sup>	$g_k$	76	kN	
MAX		B	4 m	$g_{k,lisä}$	kN/m <sup>2</sup>				
661	kN			$g_{k,sokkeli}$	7,0 kN/m				
MIN				$G_{k,antura}$	25,0 kN				
405	kN								
		$A_d$	kN	$q_{k,hyöty}$	2,0 kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,hyöty}$	16	kN	
				$q_{k,lisä}$	kN/m <sup>2</sup>				
TASOSSA					PILARILLE				
				Max	Min	Max	Min		
KRT	ominais			92	76 kN	546	450	kN	
	tavallinen			84	76 kN	496	450	kN	
	pitkäaikais			81	76 kN	477	450	kN	
MRT	EQU			108	68 kN	639	405	kN	
	STR			111	68 kN	661	405	kN	
	ONN.			84	68 kN	496	405	kN	
	GEO			568	405 kN				

Kuva 7.16 Ote pilari-palkki-laatta-käyttöliittymästä, perustustaso



Kuva 7.17 Havainnekuva, pilari-palkki-laatta-runkojärjestelmä



## 6.8 Laskennasta saatavien kuormitusarvojen käyttö

Laskennasta saadaan metrikuormia ja pistekuormia. Metrikuormilla voidaan mitoittaa kantava seinä ja palkki sekä nauha-antura. Pistekuormilla voidaan mitoittaa pilari ja pilariantura. Seiniä mitoitettaessa käytetään yleensä STR-arvoa, joka on myös useimmiten suurin. Pilaria mitoitettaessa käytetään STR-arvoa ja EQU-arvoa, tai pienintä mahdollista arvoa (MIN) kaikista. Tulokset antavat nopeasti kattavan kuvan kuormitusten suuruusluokista, mutta niitä on aina syytä tarkastella kriittisesti ja muistaa laskennassa käytetyt rajoitukset. Yksiaukkoiset ei-jatkuvat ja nivelöidyt rakenteet eivät ota vastaan momenttia. Sovellettavien rakennemallien kanssa täytyy siis olla tarkkana. On myös muistettava, että rakennesuunnittelu on aina ensisijaisesti suunnittelijan vastuulla, eikä käytettävän ohjelmiston tai laskentatyökalun tai sen laatijan vastuulla. Yleisesti ottaen suunnittelijan kannattaisi käyttää vain itse laatimiaan laskentapohjia, sillä niitä osaa käyttää itse parhaiten ja oikein.

## 7 TULOSVERTAILU JA TESTAUS

Tuloksien suuruusluokkavertailuissa ei huomattu hälyttäviä muutoksia aiempiin tuloksiin, jotka pohjautuivat yksinkertaiseen käsinlaskentaan. Tästä voidaan alustavasti päätellä, että laskennan ohjelmoinnissa ei ole merkittäviä virheitä. Erot aiemmilla menetelmillä saatuihin arvoihin olivat joitakin kilonewtoneita (kN) metrille seinät-laatta-järjestelmässä suurimman STR-arvon suhteen, lähdettäessä liikkeelle samoilla lähtöarvoilla. Kuormia (lähtöarvoja) syötettäessä on huomioitava käytettävä eurokoodilaskenta, jolloin kuormat on syytä määrittää, kuten ne on eurokoodin taulukoissa annettu.

Tuloksia vertailtaessa hämmennystä aiheutti kerrosvähennyksen käyttämisen ja käyttämättä jättämisen aiheuttamat vaikutukset lopputuloksiin.

SFS EN 1991 osassa 1-1 kerrotaan:

*”Jos tilan katsotaan kuuluvan johonkin taulukon 6.1 mukaiseen luokkaan A ... D, niin useasta kerroksesta pilareille tai seinille tuleva kokonaishyötykuorma voidaan kertoa pienennyskertoimella  $\alpha_n$ ”.*

Ohjeessa RIL 201-1-2008 kerrotaan:

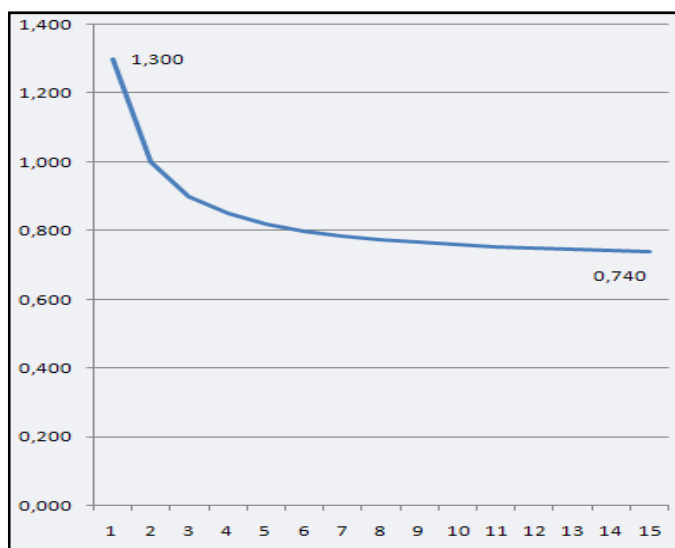
*”Kohdan 6.2.2(2) mukaisesti kerrosvähennystä  $\alpha_n$  voi soveltaa vain pilari- ja seinärakenteelle”.*

Määrittelemättä kuitenkin jää, voiko kerrosvähennystä käyttää kaikissa murto- ja käyttörajan tilan yhdistelyissä. Koska kerrosvähennyksen oletetaan pienentävän kuormia, oletetaan lopputuloksien olevan arvoiltaan pienempiä. Näin ei kuitenkaan kaikissa yhdistelyissä tapahdu. Tämä johtuu yhdistelykertoimen ristiin soveltamisen kieltämisestä. Kerrosvähennystä käytettäessä on mahdollista, että kuormat itse asiassa kasvavat onnettomuusrajan tilassa ja käyttörajan tilan tavallisessa ja pitkäaikaisyhdistelyssä. Tuloksien erot ja suhteelliset muutokset eräistä laskelmista on esitetty kuvassa 8.1.

Kerrosvähennys					
	Käytetään	Ei käytetä	Muutos		
STR	340	351	-11	kN/m	-3 %
EQU	328	338	-10	kN/m	-3 %
GEO	296	305	-9	kN/m	-3 %
ONN	286	274	+12	kN/m	+4 %
Ominais	281	287	-6	kN/m	-2 %
Tavallinen	286	274	+12	kN/m	+4 %
Pitkäaik	286	266	+20	kN/m	+8 %

**Kuva 8.1 Kerrosvähennyksen käytön muutokset kuormituksiin**

Kerrosvähennys perustuu kerrosmäärään ja yhdistelykertoimeen. Kuvassa 8.2 on esitetty pienennyskertoimen arvo kerrosmäärän funktiona, kun yhdistelykertoimen arvoksi on valittu 0,7. Nähdään, että virheellisesti käytettynä yksikerroksisen talon kohdalla saadaan arvo 1,3 ja kaksikerroksisen kohdalla arvo 1,0. Kolmikerroksisesta eteenpäin kertoimen arvo pienenee loivasti. Tämän opinäytetyön suurimman käytetyn kerrosmäärän 15 kohdalla kerroin saa arvon 0,74. Tämä tarkoittaa sitä, että 15-kerroksisen talon kohdalla voidaan hyötykuormia pienentää 26 % alkuperäisestä eli noin yhden neljäsosan voidaan ajatella poistuvan.



Kuva 8.2 Kerrosvähennyksen pienennystekijä kerrosmäärän funktiona kun  $\psi_0 = 0,7$

## 8 POHDINTA

Lähitulevaisuudessa käyttöönotettavat eurokoodit tulevat korvaamaan käytössä olevan rakennusmääräyskokoelman ensin osin ja lopulta kokonaan. Tällä hetkellä rakennesuunnittelijat käyttävät sekä SRMK:n että eurokoodin menetelmiä. Suomen rakennusmääräyskokoelma on ollut insinööritoimistojen käytössä pitkään, ja sen menetelmät ovat selkeitä ja lyhyempiä kuin huomattavasti monimutkaisempi ja laajempi eurokoodi. Lisäksi on syytä muistaa, että eurokoodit ja kansalliset liitteet ovat osin keskeneräiset ja vahvistamatta.

Eurokoodi onkin saanut kritiikkiä alan ammattilaisilta ja sen käytännön soveltaminen tämän päivän rakentamiseen on potentiaaliinsa nähden vähäistä. Rakennuslehdessä vuonna 2009 julkaistussa artikkelissa eurokoodia kritisoi tekniikan tohtori Tuomo Poutanen:

*”Tampereen teknillisessä yliopistossa vaikuttavan tekniikan tohtori Tuomo Poutasen mukaan eurokoodeissa on virheitä, jotka vaarantavat rakenteellisen turvallisuuden, mutta myös virheitä, jotka tekevät rakenteista turhan kalliita. Hän ehdottaa paluuta sallittujen jännitysten menetelmän käyttöön.”* (Mäkinen, 2011)

Esimerkkinä eurokoodissa havaittu puute on mielestäni kaarimaisen kattorakenteen lumikuorman määrittäminen, jossa standardi ei ota huomioon kinostuman ja tasaisen lumikuorman samanaikaista esiintymistä. Tarkoitan tällä puoliympyrän muotoisen kattorakenteen päälle ensin kinostuvaa lunta, niin että syntyy vaakatasossa oleva lumen muodostama pinta. Tämän jälkeen syntyneelle tasaisen pinnan päälle sataa tasainen kerros lunta. Eurokoodi jakaa tapauksen kahteen erilliseen tapaukseen, jotka eivät voi vaikuttaa samanaikaisesti. Mielestäni esitetyn kaltainen yhdistelmä on täysin fysikaalisesti mahdollinen tilanne.

Eurokoodi eroaa Suomen rakennusmääräyskokoelmasta paljon, vaikka näissä kahdessa on periaatteessa paljon samanlaisia piirteitä. Eroja on kuitenkin nimenomaan kuormien yhdistämisessä. Esimerkiksi havaitaan, että eurokoodin yhdistelykertoimet lumelle ja tuulelle ovat erilaiset, kun Suomen rakentamismääräyskokoelma käyttää samaa kerrointa molempiin. Lisäksi merkittävä ero lunta koskien on eurokoodin tapa ilmoittaa lumikuorma maassa, kun taas rakentamismääräyskokoelma ilmoittaa lumikuorman suoraan katolla.

Uuden standardin käyttöönotto jo ennestään kiireisen tilauskannan omaavilla yrityksillä työn ohessa on haaste sekä työntekijöille että yrityksille. Sanotaan, että hyväksi todettua tapaa on turha muuttaa. Jos Suomessa on osattu rakentaa suomalaisilla menetelmillä vuosikymmeniä, miksi vaihtaa toimiva järjestelmä uuteen ja monimutkaiseen vielä keskeneräiseen standardiin? Vastaukseksi tarjotaan Euroopan unionin rakennusteollisuuden yhtenäistämistä sekä rakennusteollisuuden tuotteiden (niin suunnittelu- kuin valmisosat tuotteiden) viennin helpottamista. Eurokoodilla on tarkoitus myös parantaa eurooppalaisen rakennusteollisuuden mahdollisuuksia Euroopan ulkopuolella nostamalla rakentamisen laatua ja etenkin kykyä osoittaa mistä eurooppalainen laatu syntyy. Yhtenäinen toimiva standardi varmasti toteuttaa edellä mainitut asiat. Järjestelmä ei kuitenkaan pitkästä kehityskaarestaan huolimatta ole vielä valmis ja yhtenäinen eikä kaikessa laajuudessaan täysin käytössä. Nähtäväksi jääkin eurokoodien käyttöönotto Suomessa ja muualla Euroopassa sekä käyttöönoton vaikutukset.

Eurokoodi on teoriassa 4D-suunnittelua edustava standardi, sillä sen mitoitus on sidottu myös aikaan. Tämä näkyy suunnittelukäyttöään ja yhdistelykertoimien vaikutuksina laskennassa. Rakennusalalla voidaan kuitenkin usein puhua 5D-suunnittelusta tarkoittaen rahalla viidettä ulottuvuutta. Yleisesti etenkin tavanomaisessa asuinkerrostalorakentamisessa raha ratkaisee, ja jo rakentamishankkeen alkuvaiheessa kustannuspaineet näkyvät myös rakennesuunnittelussa. Pyritään nopeaan rakentamiseen optimoiduilla kustannuksilla. Eurokoodi antaa tähän mahdollisuuksia tarkkojen laskentamenetelmien ansiosta, sillä näillä voidaan tarkasti määrittää esimerkiksi raudoitteiden määrä. Näin välttytään ylimääräisiltä työ- ja materiaalikustannuksilta suunniteltaessa vain ne asiat siinä laajuudessa kuin ne on asetettavien vaatimuksien suhteen tarpeellista toteuttaa. On kuitenkin ristiriitaista suunnitella rakenteet lähelle suurimpia sallittuja käyttöasteita, sillä yleinen tapa on mieluummin valita reilusti varmalla puolella olevia ratkaisuja. Tietenkin jos laskelmilla voidaan tarkasti osoittaa, ettei tämän enempää tarvita, siihen voisi teoriassa luottaa, mutta käytännöllä on rakennustekniikassa suuria vaikutuksia toteutettuihin lopputuloksiin. Lisäksi eurokoodin tarkkuus on kuitenkin aina paljon varmalla puolella, mikäli sitä on käytetty oikein. Todellinen kapasiteettiraja kulkee aina lopputuloksia alempana, ja jossain määrin voidaan ehkä puhua esimerkiksi systemaattisesta yliraudoituksesta. Tällä on

vaikutus kustannuksiin, mutta rahalliset kustannukset ovat toisaalta pieni hinta ihmisten turvallisuudesta. Rakennustekniikkaa ei siis voida verrata vaikkapa konetekniikan laskumenetelmiin, joissa pyritään tarkkoihin optimiarvoihin. Tällaisia optimeja voivat olla esimerkiksi komponenttien painot tai pyörivien osien sijainnit ja epäkeskisyydet.

Suurin itseäni mietityttämään jäänyt kysymys on eurokoodien siirtäminen suunnitelmien hintaan. Perusasetelma on työmaan tarve suunnitelmille, joilla rakentaminen toteutetaan. Eurokoodi ei kuitenkaan mielestäni tule muuttamaan nykyisiä suunnitelmia (rakennepiirroksia) juuri millään merkittävällä tavalla, joten on vaikea löytää mitään kustannusperustetta. Millä perusteella voidaan samantaisista suunnitelmista laskuttaa enemmän? Tuotos on pääpiirteissään sama, mutta menettelytapa on erilainen. Kysymys on suunnittelualan kannalta merkittävä, sillä toimistot joutuvat paitsi kustantamaan suunnittelijoidensa eurokoodikoulutuksen myös varaamaan projekteista aikaa pois koulutukselle. Lisäksi käyttöönotto voi aiheuttaa välittömiä ja välillisiä vaikutuksia kuten inhimillisiä virheitä, joista lasku lankeaa suunnittelupuolelle. Asian painoarvoa lisää myös elementtirakentamisen ja 3D-tietomallinnuksen (BIM) kasvava lisääntyminen rakennusosalalla. On huomattava, että tietomallinnus tapahtuu suunnittelutoimistoissa aivan kuten elementtisuunnittelukin. Laadukas ja kokonaisvaltainen suunnittelu lisää suunnittelua mutta nopeuttaa työmaata. Jollain tavalla täytyisi siis tasapainottaa suunnittelun ja työmaan välisiä kustannusperusteita.

Valmisosarakentamiselle eurokoodista voi olla kustannuksien kannalta hyötyä. Tämä voidaan joissain tapauksissa perustella tarkemmalla kuormitusmäärittelyllä, eli tekemällä rakenteita, joilla on optimoidumpi käyttöaste käyttötilanteessa. Esimerkkinä tästä voidaan katsoa eurokoodin seuraamusluokkaan CC1 luokittelema ryömintätilainen vesikatto, jossa yläpohja on varsinainen kantava rakenne. Yleinen rakenneratkaisu on tällaisessa tapauksessa kantava ontelolaattayläpohja, jonka päällä on vesikaton kannattava kattoristikko. Koska seuraamusluokka on CC1, voidaan kuormakertoimena ( $K_{FI}$ ) käyttää arvoa 0,9. Tällöin kuormat pienenevät kymmenesosan, joka puolestaan tarkoittaa likimain vastaavaa säästöä valmistuskustannuksissa.

Mielestäni eurokoodi soveltuu tällä hetkellä käytännön rakennesuunnitteluun sellaisenaan standardina heikosti, sillä se on kovin vaikealukuinen ja jokseenkin sekava. Sekavalla tarkoitan sen pirstoutunutta formaattia esittää asioita, joka johtaa turhauttavaan edestakaisin seilailuun ja kaavasta toiseen hyppimiseen. Tällä on epäedullinen vaikutus inhimillisen virheen mahdollisuuteen. Perustavanlaatuisten rakennusten suunnittelussa voidaankin mielestäni käyttää perustellusti huomattavasti yksinkertaisempia tai tilastollisia menetelmiä. Eurokoodi on edellä mainitun väittämän kanssa samaa mieltä, mutta vaatii tarkastamaan lopputuloksen oikeellisuuden eurokoodin vähimmäisvaatimuksiin. Vaativimmissa kohteissa ja erikoisrakenteissa eurokoodilla on varmasti enemmän merkitystä ja potentiaalia, kun mittaepätarkkuudet ja karkeiden laskentamenetelmien yksinkertaistuksista johtuvat virheet nousevat merkittävään asemaan.

Käytettäessä kerrosvähennystä hyötykuormien laskennassa täytyy olla kriittinen, kuten myös pinta-alavähennystä käytettäessä. Erityisesti on käytetyt laskentamenetelmät ja sovelletut vähennykset syytä ilmaista selvästi suunnitteluasiakirjoissa. Kuten RIL:n kuormitusohjeessa mainitaan, vähennystä *voidaan* käyttää, mutta sitä ei ole pakko käyttää. Käyttö ja siitä saatava hyöty jääkin näin suunnittelijan valinnaksi. Yleispätevänä sääntönä lienee suotavaa todeta, että kerrosvähennyksen hyöty on sitä suurempi mitä useampia siihen soveltuvia kerroksia rakennuksessa on.

Kuormitusyhdistelyt tulivat opinnäytetyön aikana minulle henkilökohtaisesti erittäin selkeiksi, ja ymmärrän niitä nyt huomattavasti syvällisemmin kuin opiskelujen alku- ja keskivaiheilla. Etenkin yhtälöiden ja rajatilamitoituksen perusteet selvisivät minulle kuormitusten osalta hyvin. Eurokoodi yleisesti myös selventyi silmissäni huomattavasti, sen osat, käyttötarkoitukset, tavoitteet ja sen olemassaolon tarkoitus.

Opinnäytetyöprosessista yleisesti voin todeta sen olleen mieltä avartava ja mielenkiintoinen kokemus. Saadessani opinnäytetyösopimuksen insinööritoimistosta Ylimäki & Tinkanen Oy sovittiin samalla myös varsinainen työsuhde alkavaksi heti vuoden 2011 tammikuun ensimmäisestä arkipäivästä. Ensimmäiset kuukaudet kuluivat suurilta osin totutellella talon tavoille ja opetellessa rakennesuunnittelijan perustehtäviä ja yhteistyötä muiden rakentamisprosessin osapuol-

ten kanssa yhteisessä projektissa. Sivutoimisesti perehdyin tuolloin opinnäytetyön teoriapuoleen sekä luonnostelin Excel-laskentaa ja raporttia.

Ensimmäisen seminaarin työstäni pidin helmikuussa (aloitusseminaari 22.02.2011), ja siitä eteenpäin kuukauden välein loput kaksi seminaaria myös aikataulun mukaisesti koulun niille varaamina aikoina. Maaliskuusta eteenpäin opinnäytetyöprosessi vauhdittui kiihtyvällä tahdilla, ja neuvonpito ohjaajien kanssa tiivistyi. Työpaikalla Kotkassa pystyin hyvin hyödyntämään ohjaajaani Jukka Ukkoa sekä myös muuta ammattitaitoista henkilökuntaa, jotka ennakkoluulottomasti ja rehellisesti kommentoivat työtäni sekä sen keski- että loppuvaiheilla. Kävin myös useaan otteeseen Lappeenrannassa koululla näyttämässä työn edistymistä ohjaajalleni Petri Himmille, joka antoi arvokkaita neuvoja ja ideoita työn saattamiseksi oikeaan suuntaan.

Työn ohjauksen kannalta on mielestäni erittäin tärkeää oppilaan ohjaus oikeaan suuntaan ns. ruohonjuuritasolla. Tarkoitan tällä huolenpitoa koskien perusasioita työn aiheellisuudesta ja harhapolkujen välttämistä, jotka vievät paljon joskus vähän käytettävissä olevaa aikaa. Mielestäni työn ohjauksessa onnistuttiin hyvin sekä yrityksen että koulun puolella. Kiitokset tästä kuuluvat molemmille ohjaajille ja tietenkin koululle ja tilaajalle.

Opinnäytetyötä tehdessäni olin tammikuusta alkaen neljän kuukauden koeajalla avustavana rakennesuunnittelijana ja toukokuun alkaessa sovin töiden jatkamisesta toistaiseksi voimassa olevalla sopimuksella. Tämä on hyvä lähtökohta jokaiselle opiskelijalle työelämään, sillä yleensä opinnäytetyön tuotoksen mukana yrityksen alaisuuteen siirtyvä uusi työntekijä tuo mukanaan teknisen tuen tuotteelleen sekä hyödyntää jo syntynyttä vakuuttavuuttaan asiantuntijana toimiessaan työtehtävissään.

## **9 YHTEENVETO**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa tilaajalle Excel-pohjainen laskentatyökalu ja selvittää minulle ja mahdollisesti muille laskentatyökalua käyttäville eurokoodin kuormitusyhdistelyjä laskettaessa monikerroksisen rakennuksen pystykuormia. Laskentatyökalu on mielestäni visuaalisesti ja käytettävyydeltään



selkeä ja yksinkertainen, mutta vertailulaskelmia ja tulosvertailuja on tehty vielä liian vähän. Excel oli minulle jo ennestään tuttu toimintaympäristö, mutta opin siitä myös joitain uusia asioita laatiessani laskentapohjaa.

Käytiin läpi yleisesti eurokoodi ja rajatilamitoituksen perusteet ja merkitys. Kohdallisella tarkkuudella perehdyttiin murto- ja käyttörajatilan kuormitusyhdistelyihin sekä niihin liittyviin määreisiin, kuten seuraamusluokkaan ja kuormakertoihin. Lisäksi selostettiin kerrostalorakentamisessa yleisimmin käytetyt runkojärjestelmät perustapauksineen ja karkeasti niissä huomioitavia stabiliteettiin liittyviä seikkoja. Erityisesti keskityttiin pystykuormiin laskettaessa niitä seinille ja pilareille.

Teoriaosuuden jälkeen selvitettiin laaditun Excel-laskentapohjan toimintaperiaate, käyttö, sen tuottamat tulokset ja niiden käyttö. Kerrottiin myös miten eurokoodipohjaisia yhtälöjä yksinkertaistettiin välttämään liiallista tarkkuutta mutta kuitenkin tuottamaan varmallalla puolella olevia lopputuloksia.

## KUVAT

- Kuva 3.1 Hyväksyttävän vaurioitumisen suositusraja (EN 1991, OSA 1-7, kuva A.1), s.15
- Kuva 7.1 Esimerkkitalon leikkaus, s.40
- Kuva 7.2 Esimerkkitalon kuormalinja A/1...2 tasopiirustuksessa, s.41
- Kuva 7.3 Lähtötietojen määrittely, s.42
- Kuva 7.4 Rakennetyyppien ominaispainot, s.43
- Kuva 7.5 Lähtöarvojen määrittely seinät-laatta-runkojärjestelmässä, s.44
- Kuva 7.6 Havainnekuva kuormien siirtymisestä onnettomuustilanteessa, s.45
- Kuva 7.7 Murtorajatilan ylä- ja ala-arvot laskentapohjassa, s.46
- Kuva 7.8 Käyttörajatilan ylä- ja ala-arvot laskentapohjassa, s.47
- Kuva 7.9 Murtorajatilan EQU ja STR ylä- ja ala-arvoja eri kuormitustapauksissa, s.48
- Kuva 7.10 Käyttörajatilan ylä- ja ala-arvoja eri kuormitustapauksissa ja eri yhdistelyissä, s.49
- Kuva 7.11 Laskennan yhteenveto, s.50
- Kuva 7.12 Pilari-palkki-laatta-esimerkin kuormitusalue, s.51
- Kuva 7.13 Palkin ja pilarin omapainot pistekuormina, s.52
- Kuva 7.14 Pilari-palkki-laatta-laskentapohjan etusivu, s.53
- Kuva 7.15 Ote pilari-palkki-laatta-käyttöliittymästä, viides kerros, s.55
- Kuva 7.16 Ote pilari-palkki-laatta-käyttöliittymästä, perustustaso, s.55
- Kuva 7.17 Havainnekuva, pilari-palkki-laatta-runkojärjestelmä, s.56
- Kuva 8.1 Kerrosvähennyksen käytön muutokset kuormitukseen, s.58
- Kuva 8.2 Kerrosvähennyksen pienennystekijä kerrosmäärän funktiona kun  $\psi_0 = 0,7$ , s.59

## TAULUKOT

- Taulukko 3.1 Rakennusten suositeltu luokitus seuraamusluokkiin, s.16
- Taulukko 3.2 Seuraamusluokan määrittely vaurion tai vian seuraamusten perusteella, s.16
- Taulukko 3.3 Luotettavuusindeksille  $\beta$  suositeltavat vähimmäisarvot murtorajatiloiissa, s.16
- Taulukko 3.4 Seuraamusluokan määrittely Suomen kansallisen liitteen mukaan, s.17
- Taulukko 3.5 Rakennusten käyttöluokitus käyttötarkoituksen perusteella, s.20
- Taulukko 3.6 Hyötykuormat käyttöluokituksen perusteella, s.21
- Taulukko 3.7 Suomen kansallisessa liitteessä esitetyt hyötykuormat, s.21
- Taulukko 3.8 Kuormien mitoitusarvot EQU:ssa, s.24
- Taulukko 3.9 Kuormien mitoitusarvot STR:ssä, s.25
- Taulukko 3.10 Kuormien mitoitusarvot GEO:ssa, s.26
- Taulukko 6.1 Murtorajatilan yhdistelyt, s.35
- Taulukko 6.2 Käyttörajatilan yhdistelyt, s.36
- Taulukko 6.3 Yhdistelykerroin  $\psi$  rakennuksen tyyppin mukaan, s.36
- Taulukko 6.4 Kuormakerroin seuraamusluokan mukaan, s.37

## LÄHTEET

Asuinkerrostalon esimerkkilaskelmat

[www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23641/Asuinkerrostalon%20mallilaskelmat.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23641/Asuinkerrostalon%20mallilaskelmat.pdf) (luettu 1.2.2011)

Eurokoodi [eurocodes.jrc.ec.europa.eu](http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu)

Eurokoodi SFS-EN 1990 + A1 + AC ja kansallinen liite

Eurokoodi SFS-EN 1991 ja kansalliset liitteet

Eurokoodi SFS-EN 1997-1 + AC

Eurokoodi [www.eurocodes.fi](http://www.eurocodes.fi)

Hellsten Janne. Elementtirakenteisen asuinkerrostalon esimerkkilaskelmia eurokoodin mukaisesti. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu. Lappeenranta

Leikas Ville. Pilarin jatkosliitoksen mitoitus ja mallintaminen. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu. Lappeenranta.

Mäkinen Marita. Hämeen ammattikorkeakoulu. Rakennelainstituutti, rakenteiden suunnitteluperusteet, rakenteiden kuormat, 19.05.2011. Rakennusteollisuuden koulutuskeskus RATEKO.

Oinonen Matti, Eurokoodien käyttöönotto insinööritoimistoissa. Opinnäytetyö. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. Lappeenranta.

RIL 201-1-2008, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.

TkT Heininsuo Markku. Tampereen teknillinen yliopisto. Eurokoodikoulutusta kuntien rakennustarkastajille, luentomoniste 2008.

Viklund Sami. Rakennuksen tuulikuormat eurokoodin EN 1991-1-4 mukaan. Opinnäytetyö. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. Lappeenranta.

Ympäristöministeriö [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)

Inststo Ylimäki & Tinkanen Oy		Kuormituslaskelma		Seinät-laatta	
		Tekijä:	Jari Närvänen	Sivu:	1 (2)
Päiväys:		19.4.2011			
Rakennuskohde:		Työ no:	Osoite:	Kuormalinja:	
Mallitalo		00001		A/1...2	
Talo A					
Kuormitukset kerroksittain ja linjoittain					Versio 1.0

#### Rakennuksen tyyppi

Asuintila ▼

#### Seuraamusluokka

CC2 ▼

Pienennyskerroin  $\alpha_n$  0,820

#### Kerroksia

5 ▼

#### Lumikuorma maassa

Sk ≤ 2,75 kN/m2 ▼

#### Kerrosvähennys

Ei käytetä ▼

Kuormakerroin  $K_{FI}$  1

#### Suurimmat kuormat

Σ Murtorajatila [kN/m]	
STR	135
EQU	131
GEO	116
ONN.	102

#### Suurimmat kuormat

Σ Käyttörajatila [kN/m]	
ominais	110
tavallinen	98
pitkäaikainen	86

KANTAVILLA SEINILLÄ VAIKUTTAVIEN KUORMIEN YLÄÄRVOT [kN/m]													
Kerros	Murtorajatila							Käyttörajatila					
	EQU		STR		Onnett.		GEO	Ominais		Tavallinen		Pitkäaikainen	
	$\Sigma p_{d,EQU}$	Kumul	$\Sigma p_{d,STR}$	Kumul	$\Sigma p_A$	Kumul	$\Sigma p_{d,GEO}$	$\Sigma p_{k,om}$	Kumul	$\Sigma p_{k,tav}$	Kumul	$\Sigma p_{k,pit}$	Kumul
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	24	24	25	25	18	18	0	20	20	18	18	16	16
4	19	43	20	45	14	32	0	16	36	14	32	12	28
3	19	62	20	64	14	46	0	16	52	14	46	12	40
2	19	82	20	84	14	60	0	16	68	14	60	12	52
1	19	101	20	104	18	78	0	16	84	14	74	12	64
KEL	0	101	0	104	0	78	0	0	84	0	74	0	64
PER	30	131	31	135	24	102	116	26	110	24	98	22	86
MAX	131		135		102		116	110		98		86	
MIN	78		78		78		78	86		86		86	
Δ	53		58		24		38	24		12		0	

MAX Perustuksilla vaikuttavan kuorman yläarvo

MIN Perustuksilla vaikuttavan kuorman ala-arvo

Δ Perustuksilla vaikuttavan kuorman vaihteluväli raja-arvojen mukaan

**KUORMITUSYHDISTELYT EUROKOODIN MUKAAN**

Vain sinisiin ruutuihin syötetään arvoja

Kaikki kuormat syötetään seinän metrikuormina [kN/m]

Laskenta ei huomioi poikittaisvoimia

Kaikki kuormat katsotaan epäedullisiksi

Esijännitysvoimaa (P) ei ole huomioitu

**Murtorajatilan yhdistelmät****EQU** (Tasapaino)

$$1,1K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

**STR** (Lujuus) Suurempi seuraavista

$$1,15K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

$$1,35K_{FI}\Sigma G_k$$

**GEO** (Geotekninen kantavuus)

$$1,0K_{FI}\Sigma G_k + 1,3K_{FI}Q_{k,1} + 1,3K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

**Onnettomuustilanne** (mitoitettavan kuorman mukaan)

$$\Sigma G_k + A_d + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i} \quad \text{Lumi}$$

$$\Sigma G_k + A_d + \psi_{2,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i} \quad \text{Hyöty}$$

**Käyttörajatilan yhdistelmät****Ominaisyhdistelmä** (palautumattomille rajatiloille)

$$\Sigma G_k + Q_{k,1} + \Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

**Tavallinen yhdistelmä** (palautuville rajatiloille)

$$\Sigma G_k + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$$

**Pitkäaikaisyhdistelmä** (pitkäaikaisvaikutuksille)

$$\Sigma G_k + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$$

$$Q_{k,hyöty} = q_{k,hyöty} + q_{k,lisä}$$

$$Q_{k,lumi} = q_{k,lumi}$$

$$\Sigma G_k = g_k + g_{k,lisä}$$

**LÄHTÖTIEDOT** Mallitalo  
Talo A**Kuormakerroin**

Kfi 1

**Rakennuksen tyyppi**

Asuintila ▼

**Seuraamusluokka**

CC2 ▼

**Kerrosvähennys**

Ei käytetä ▼

**Kerroksia**

5 ▼

**Lumikuorma maassa**

Sk ≤ 2,75 kN/m2 ▼

**Pienennyskerroin**α<sub>n</sub> 0,820**Merkintöjen selitteet**

K <sub>FI</sub>	Kuormakerroin
ΣG <sub>k</sub>	Pysyvien kuormien ominaisarvojen summa
Q <sub>k,1</sub>	Määrittävän muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo
Q <sub>k,i</sub>	Muun samanaikaisen muuttuvan kuorman i ominaisarvo
A <sub>d</sub>	Onnettomuuskuorman mitoitusarvo
g <sub>k</sub>	Pysyvän kuorman ominaisarvo
q <sub>k</sub>	Yksittäisen muuttuvan kuorman ominaisarvo
Σg <sub>k</sub>	Pysyvien kuormien ominaisarvojen summa
Σq <sub>k</sub>	Muuttuvien kuormien ominaisarvojen summa
Σp <sub>k</sub>	Pysyvien ja muuttuvien kuormien ominaisarvojen summa kerrostasossa
Σp <sub>d</sub>	Pysyvien ja muuttuvien kuormien suunnitteluarvo kerrostasossa
Σp <sub>A</sub>	Onnettomuuskuorman mitoitusarvo kerrostasossa
ψ <sub>0</sub>	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, ominaisyhdistelmä
ψ <sub>1</sub>	Muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykerroin
ψ <sub>2</sub>	Muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin
ψ <sub>2,i</sub>	Muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien yhdistelykerroin
Kumul	Kumulatiivinen kuorma kerrostasossa

**YHDISTELYKERTOIMET, KUORMAKERROIN JA KERROSVÄHENNYKSEN PIENENNYSKERROIN**  
**Arvot määräytyvät automaattisesti lähtötietojen mukaan**

Rakennuksen tyyppi						
Hyötykuormat		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	Hakuv.	Solul.
A	Asuintila	0,7	0,5	0,3	1	1
B	Toimistotila	0,7	0,5	0,3	2	
C	Kokoontumistila	0,7	0,7	0,3	3	
D	Myyvälätila	0,7	0,7	0,6	4	
E	Varastotila	1	0,9	0,8	5	
F	Liikennöitävä tila < 30 kN	0,7	0,7	0,6	6	
G	Liikennöitävä tila 30...160 kN	0,7	0,5	0,3	7	
H	Vesikatot	0	0	0	8	
Lumikuorma maassa						
$S_k \leq 2,75 \text{ kN/m}^2$		0,7	0,4	0,2	1	1
$S_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$		0,7	0,5	0,2	2	

Seuraamusluokka	Luotettavuusluokka	$K_{FI}$			
CC3	RC3	1,1		1	2
CC2	RC2	1,0		2	
CC1	RC1	0,9		3	

Kerrosvähennys				
Käytetään			1	2
Ei käytetä			2	
$\alpha_n$	0,820			
n (kerrosten määrä)	5			
$\psi_0$	0,7			

Kerroksia	solul
1	5
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	

## LÄHTÖARVOT

Sinisiin ruutuihin syötetään lähtöarvot kN/m (suunnittelija laskee metrikuorman seinälle)

Yhdistelykertoimet määräytyvät automaattisesti rakennuksen luokituksen perusteella

Taso-kohtaan merkitään korkeusasema, jossa kuorma vaikuttaa (yleensä välipohjan yläpinta)

LÄHTÖARVOT																
KUORMALINJA		KUORMAT						OMINAISARVOT			Kertoimet					
A/1...2		PYSYVÄT		MUUTTUVAT			ONNETT.	Kuormat			Hyöty			Lumi		
kerros	taso	$g_k$	$g_{k,lisä}$	$q_{k,lumi}$	$q_{k,hyöty}$	$q_{k,lisä}$	$A_d$	$\Sigma G_k$	$\Sigma Q_{k,hyöty}$	$\Sigma Q_{k,lumi}$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
14.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
13.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
12.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
11.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
10.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
9.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
8.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
7.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
6.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
5.	+21.000	16,4	14,4	4,0				16,4	0,0	4,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
4.	+18.000	12,0	11,0		4,0			12,0	4,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
3.	+15.000	12,0	11,0		4,0			12,0	4,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
2.	+12.000	12,0	11,0		4,0			12,0	4,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
1.	+9.000	12,0	11,0		4,0		4,0	12,0	4,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
Kellari								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
Perustus	+7.000	22,0	11,0		4,0			22,0	4,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
YHTEENSÄ		86	69		20	0		86	20	4						



## KÄYTTÖRAJATILAN SUURIMMAT JA PIENIMMÄT ARVOT

Punainen = Yläarvo

Vihreä = Ala-arvo

KÄYTTÖRAJATILA									
YLÄARVOT								ALA-ARVOT	
kerros	taso	Ominais		Tavallinen		Pitkäaikainen		$\Sigma G_k$	Kumul.
		$\Sigma p_{k,om}$	Kumul.	$\Sigma p_{k,tav}$	Kumul.	$\Sigma p_{k,pit}$	Kumul.		
14.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.	+21.000	20	20	18	18	16	16	16	16
4.	+18.000	16	36	14	32	12	28	12	28
3.	+15.000	16	52	14	46	12	40	12	40
2.	+12.000	16	68	14	60	12	52	12	52
1.	+9.000	16	84	14	74	12	64	12	64
Kellari	0	0	84	0	74	0	64	0	64
Perustus	+7.000	26	110	24	98	22	86	22	86
YHTEENSÄ			110		98		86		86

## MURTORAJATILAN SUURIMMAT JA PIENIMMÄT ARVOT

Punainen = Yläarvo

Vihreä = Ala-arvo

MURTORAJATILA										
YLÄARVOT									ALA-ARVOT	
kerros	taso	EQU		STR		ONNETT.		GEO		
		$\Sigma p_{d,EQU}$	Kumul.	$\Sigma p_{d,STR}$	Kumul.	$\Sigma p_A$	Kumul.	$\Sigma p_{d,GEO}$	$0,9\Sigma G_k$	Kumul.
14.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
13.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
12.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
11.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
10.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
9.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
8.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
7.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
6.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
5.	+21.000	24	24	25	25	18	18		15	15
4.	+18.000	19	43	20	45	14	32		11	26
3.	+15.000	19	62	20	64	14	46		11	36
2.	+12.000	19	82	20	84	14	60		11	47
1.	+9.000	19	101	20	104	18	78		11	58
Kellari	0	0	101	0	104	0	78		0	58
Perustus	+7.000	30	131	31	135	24	102	116	20	78
YHTEENSÄ			131		135		102	116		78

# KÄYTTÖRAJATILAN KUORMITUSYHDISTELYJEN ARVOT

Sivu: 6 (7)

<b>Yläarvot määräävän kuorman mukaan</b>
<b>Ominaisyhdistelmä</b> (palautumattomille rajatiloille)
$\Sigma G_k + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$
<b>Tavallinen yhdistelmä</b> (palautuville rajatiloille)
$\Sigma G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$
<b>Pitkäaikaisyhdistelmä</b> (pitkäaikaisvaikutuksille)
$\Sigma G_k + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

<b>Ala-arvot vain pysyvät kuormat huomioiden</b>
$\Sigma G_k$

hyöty = hyötykuorma sijoitettu $Q_{k,1}$
lumi = lumikuorma sijoitettu $Q_{k,1}$

		KÄYTTÖRAJATILA								
		ominais			tavallinen			pitkäaikainen		
kerros	taso	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi
14.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5.	+21.000	16,40	19,20	20,40	16,40	17,20	18,00	16,40	16,40	17,20
4.	+18.000	12,00	16,00	14,80	12,00	14,00	13,20	12,00	13,20	12,00
3.	+15.000	12,00	16,00	14,80	12,00	14,00	13,20	12,00	13,20	12,00
2.	+12.000	12,00	16,00	14,80	12,00	14,00	13,20	12,00	13,20	12,00
1.	+9.000	12,00	16,00	14,80	12,00	14,00	13,20	12,00	13,20	12,00
Kellari		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Perustus	+7.000	22,00	26,00	24,80	22,00	24,00	23,20	22,00	23,20	22,00

**MURTORAJATILAN KUORMITUSYHDISTELYJEN ARVOT**

Sivu: 7 (7)

Yläarvot määräävän kuorman mukaan
<b>EQU</b> (Tasapaino)
$1,1K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$
<b>STR</b> (Lujuus) Suurempi seuraavista
$1,15K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$
$1,35K_{FI}\Sigma G_k$
<b>GEO</b> (Geotekninen kantavuus)
$1,0K_{FI}\Sigma G_k + 1,3K_{FI}Q_{k,1} + 1,3K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$
<b>Onnettomuustilanne</b> (mitoitettavan kuorman mukaan)
$\Sigma G_k + A_d + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$ Lumi
$\Sigma G_k + A_d + \psi_{2,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$ Hyöty

Ala-arvot vain pysyvät kuormat huomioiden
$0,9\Sigma G_k$

hyöty = hyötykuorma sijoitettu $Q_{k,1}$
lumi = lumikuorma sijoitettu $Q_{k,1}$

		MURTORAJATILA												
		EQU			STR				ONNETT.				GEO	
kerros	taso	0,9ΣG <sub>k</sub>	hyöty	lumi	0,9ΣG <sub>k</sub>	1,35K <sub>FI</sub> ΣG <sub>k</sub>	hyöty	lumi	hyöty1	lumi1	hyöty2	lumi2	hyöty	lumi
14.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
13.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
12.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
11.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
10.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
9.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
8.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
7.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
6.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
5.	+21.000	14,76	22,24	24,04	14,76	22,14	23,06	24,86	17,20	18,00	17,20	17,20		
4.	+18.000	10,80	19,20	17,40	10,80	16,20	19,80	18,00	14,00	13,20	13,20	13,20		
3.	+15.000	10,80	19,20	17,40	10,80	16,20	19,80	18,00	14,00	13,20	13,20	13,20		
2.	+12.000	10,80	19,20	17,40	10,80	16,20	19,80	18,00	14,00	13,20	13,20	13,20		
1.	+9.000	10,80	19,20	17,40	10,80	16,20	19,80	18,00	18,00	17,20	17,20	17,20		
Kellari		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Perustus	+7.000	19,80	30,20	28,40	19,80	29,70	31,30	29,50	24,00	23,20	23,20	23,20	116,04	109,80

Inststo Ylimäki & Tinkanen Oy		Kuormituslaskelma		Pilari-palkki-laatta	
		Tekijä:	Jari Närvänen	Sivu:	1 (2)
		Päiväys:	19.4.2011		
Rakennuskohde:		Työ no:	Osoite:	Kuormalinja:	
Mallitalo Talo A		00001		A/1...2	
Kuormitukset kerroksittain ja linjoittain					Versio 1.0

#### Rakennuksen tyyppi

Asuintila ▼

#### Seuraamusluokka

CC2 ▼

Kuormakerroin  $K_{FI}$  1

Pienennyskerroin  $\alpha_n$  0,820

#### Kerroksia

5 ▼

#### Lumikuorma maassa

$S_k \leq 2,75 \text{ kN/m}^2$  ▼

#### Kerrosvähennys

Ei käytetä ▼

#### Suurimmat kuormat

$\Sigma$ Murtorajatila [kN/m]	
STR	661
EQU	639
GEO	568
ONN.	496
$\Sigma$ Käyttörajatila [kN/m]	
ominais	546
tavallinen	496
pitkäaikainen	450

PILAREILLA VAIKUTTAVIEN KUORMIEN YLÄÄRVOT [kN/m]													
Kerros	Murtorajatila							Käyttörajatila					
	EQU		STR		Onnett.		GEO	Ominais		Tavallinen		Pitkäaikainen	
	$\Sigma p_{d,EQU}$	Kumul	$\Sigma p_{d,STR}$	Kumul	$\Sigma p_A$	Kumul	$\Sigma p_{d,GEO}$	$\Sigma p_{k,om}$	Kumul	$\Sigma p_{k,tav}$	Kumul	$\Sigma p_{k,pit}$	Kumul
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	118	118	122	122	92	92	0	102	102	92	92	86	86
4	103	221	107	229	80	172	0	88	190	80	172	72	158
3	103	325	107	336	80	252	0	88	278	80	252	72	230
2	103	428	107	443	80	332	0	88	366	80	332	72	302
1	103	531	107	550	80	412	0	88	454	80	412	72	374
KEL	0	531	0	550	0	412	0	0	454	0	412	0	374
PER	108	639	111	661	84	496	568	92	546	84	496	76	450
MAX	639		661		496		568	546		496		450	
MIN	405		405		405		405	450		450		450	
Δ	234		256		91		164	96		46		0	

MAX Perustuksilla vaikuttavan kuorman yläarvo

MIN Perustuksilla vaikuttavan kuorman ala-arvo

$\Delta$  Perustuksilla vaikuttavan kuorman vaihteluväli raja-arvojen mukaan

# KUORMAT

Sivu

1 (4)

## Sinisiin ruutuihin syötetään lähtöarvot

Esim. Neljännen kerroksen pilarille P4 syötetään viidenneltä kerrokselta tulevat kuormat leveyksiltä A ja B.

Huom. Käytettävät yksiköt [kN, kN/m, kN/m<sup>2</sup>]

Punainen = yläarvo

Vihreä = ala-arvo

<b>5.KRS</b>	<b>+21.000</b>	Kuormitusleveys	Kuormat	PILARILLE
<b>P5</b>		A 2 m	$g_k$ 7,2 kN/m <sup>2</sup>	$g_k$ 86 kN
MAX		B 4 m	$g_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
122	kN		$G_{k,palkki}$ 16,0 kN	
MIN			$G_{k,pilari}$ 12,0 kN	
77	kN	$A_d$ kN	$q_{k,hyöty}$ kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,hyöty}$ 0 kN
			$q_{k,lumi}$ 2,0 kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,lumi}$ 16 kN
			$q_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
TASOSSA				
			Max	Min
KRT	ominais		102	86 kN
	tavallinen		92	86 kN
	pitkäaikais		89	86 kN
MRT	EQU		118	77 kN
	STR		122	77 kN
	ONN.		92	77 kN
PILARILLE				
			Max	Min
			102	86 kN
			92	86 kN
			89	86 kN
			118	77 kN
			122	77 kN
			92	77 kN

<b>4.KRS</b>	<b>+18.000</b>	Kuormitusleveys	Kuormat	PILARILLE
<b>P4</b>		A 2 m	$g_k$ 5,5 kN/m <sup>2</sup>	$g_k$ 72 kN
MAX		B 4 m	$g_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
229	kN		$G_{k,palkki}$ 16,0 kN	
MIN			$G_{k,pilari}$ 12,0 kN	
142	kN	$A_d$ kN	$q_{k,hyöty}$ 2,0 kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,hyöty}$ 16 kN
			$q_{k,lumi}$ kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,lumi}$ 0 kN
			$q_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
TASOSSA				
			Max	Min
KRT	ominais		88	72 kN
	tavallinen		80	72 kN
	pitkäaikais		77	72 kN
MRT	EQU		103	65 kN
	STR		107	65 kN
	ONN.		80	65 kN
PILARILLE				
			Max	Min
			190	158 kN
			172	158 kN
			166	158 kN
			221	142 kN
			229	142 kN
			172	142 kN

# KUORMAT

Sivu

2 (4)

## Sinisiin ruutuihin syötetään lähtöarvot

Esim. Neljännen kerroksen pilarille P4 syötetään viidenneltä kerrokselta tulevat kuormat leveyksiltä A ja B.

Huom. Käytettävät yksiköt [kN, kN/m, kN/m<sup>2</sup>]

Punainen = yläarvo

Vihreä = ala-arvo

<b>3.KRS</b>	<b>+15.000</b>	Kuormitusleveys	Kuormat	PILARILLE
<b>P3</b>		A 2 m	$g_k$ 5,5 kN/m <sup>2</sup>	$g_k$ 72 kN
MAX		B 4 m	$g_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
336	kN		$G_{k,palkki}$ 16,0 kN	
MIN			$G_{k,pilari}$ 12,0 kN	
207	kN	$A_d$ kN	$q_{k,hyöty}$ 2,0 kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,hyöty}$ 16 kN
			$q_{k,lumi}$ kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,lumi}$ 0 kN
			$q_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
TASOSSA				
			Max	Min
KRT	ominais	88	72	kN
	tavallinen	80	72	kN
	pitkäaikais	77	72	kN
MRT	EQU	103	65	kN
	STR	107	65	kN
	ONN.	80	65	kN
			Max	Min
		278	230	kN
		252	230	kN
		242	230	kN
		325	207	kN
		336	207	kN
		252	207	kN

<b>2.KRS</b>	<b>+12.000</b>	Kuormitusleveys	Kuormat	PILARILLE
<b>P2</b>		A 2 m	$g_k$ 5,5 kN/m <sup>2</sup>	$g_k$ 72 kN
MAX		B 4 m	$g_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
443	kN		$G_{k,palkki}$ 16,0 kN	
MIN			$G_{k,pilari}$ 12,0 kN	
271	kN	$A_d$ kN	$q_{k,hyöty}$ 2,0 kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,hyöty}$ 16 kN
			$q_{k,lumi}$ kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,lumi}$ 0 kN
			$q_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
TASOSSA				
			Max	Min
KRT	ominais	88	72	kN
	tavallinen	80	72	kN
	pitkäaikais	77	72	kN
MRT	EQU	103	65	kN
	STR	107	65	kN
	ONN.	80	65	kN
			Max	Min
		366	302	kN
		332	302	kN
		319	302	kN
		428	271	kN
		443	271	kN
		332	271	kN

# KUORMAT

Sivu

3 (4)

## Sinisiin ruutuihin syötetään lähtöarvot

Esim. Neljännen kerroksen pilarille P4 syötetään viidenneltä kerrokselta tulevat kuormat leveyksiltä A ja B.

Huom. Käytettävät yksiköt [kN, kN/m, kN/m<sup>2</sup>]

Punainen = yläarvo

Vihreä = ala-arvo

<b>1.KRS</b>	<b>+9.000</b>	<b>Kuormitusleveys</b>	<b>Kuormat</b>	<b>PILARILLE</b>
<b>P1</b>		A 2 m	$g_k$ 5,5 kN/m <sup>2</sup>	$g_k$ 72 kN
MAX		B 4 m	$g_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
550	kN		$G_{k,palkki}$ 16,0 kN	
MIN			$G_{k,pilari}$ 12,0 kN	
336	kN	$A_d$ kN	$q_{k,hyöty}$ 2,0 kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,hyöty}$ 16 kN
			$q_{k,lumi}$ kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,lumi}$ 0 kN
			$q_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	

<b>TASOSSA</b>				<b>PILARILLE</b>	
		Max	Min		
KRT	ominais	88	72	kN	454 374 kN
	tavallinen	80	72	kN	412 374 kN
	pitkäaikais	77	72	kN	396 374 kN
MRT	EQU	103	65	kN	531 336 kN
	STR	107	65	kN	550 336 kN
	ONN.	80	65	kN	412 336 kN

<b>KEL</b>		<b>Kuormitusleveys</b>	<b>Kuormat</b>	<b>PILARILLE</b>
<b>P0</b>		A 0 m	$g_k$ kN/m <sup>2</sup>	$g_k$ 0 kN
MAX		B 0 m	$g_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	
550	kN		$G_{k,palkki}$ kN	
MIN			$G_{k,pilari}$ kN	
336	kN	$A_d$ kN	$q_{k,hyöty}$ kN/m <sup>2</sup>	$q_{k,hyöty}$ 0 kN
			$q_{k,lisä}$ kN/m <sup>2</sup>	

<b>TASOSSA</b>				<b>PILARILLE</b>	
		Max	Min		
KRT	ominais	0	0	kN	454 374 kN
	tavallinen	0	0	kN	412 374 kN
	pitkäaikais	0	0	kN	396 374 kN
MRT	EQU	0	0	kN	531 336 kN
	STR	0	0	kN	550 336 kN
	ONN.	0	0	kN	412 336 kN



# KUORMAT

Sivu

4 (4)

## Sinisiin ruutuihin syötetään lähtöarvot

Esim. Neljännen kerroksen pilarille P4 syötetään viidenneltä kerrokselta tulevat kuormat leveyksiltä A ja B.

Huom. Käytettävät yksiköt [kN, kN/m, kN/m<sup>2</sup>]

**Punainen = yläarvo**

**Vihreä = ala-arvo**

PER	+7.000	Kuormitusleveys	Kuormat			PILARILLE	
P-ANT		A 2 m	g <sub>k</sub>	5,5	kN/m <sup>2</sup>	g <sub>k</sub>	76 kN
MAX		B 4 m	g <sub>k,lisä</sub>		kN/m <sup>2</sup>		
661	kN		g <sub>k,sokkeli</sub>	7,0	kN/m		
MIN			G <sub>k,antura</sub>	25,0	kN		
405	kN						
		A <sub>d</sub>	q <sub>k,hyöty</sub>	2,0	kN/m <sup>2</sup>	q <sub>k,hyöty</sub>	16 kN
			q <sub>k,lisä</sub>		kN/m <sup>2</sup>		
TASOSSA						PILARILLE	
			Max	Min		Max	Min
KRT	ominais		92	76	kN	546	450 kN
	tavallinen		84	76	kN	496	450 kN
	pitkäaikais		81	76	kN	477	450 kN
MRT	EQU		108	68	kN	639	405 kN
	STR		111	68	kN	661	405 kN
	ONN.		84	68	kN	496	405 kN
	GEO		568	405	kN		

**KUORMITUSYHDISTELYT EUROKOODIN MUKAAN**

Sinisten ruutujen lähtöarvot määräytyvät käyttöliittymästä

Kuormat ovat pilarin pistekuormia [kN]

Laskenta ei huomioi poikittaisvoimia

Kaikki kuormat katsotaan epäedullisiksi

Esijännitysvoimaa (P) ei ole huomioitu

**Murtorajatilan yhdistelmät****EQU** (Tasapaino)

$$1,1K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

**STR** (Lujuus) Suurempi seuraavista

$$1,15K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

$$1,35K_{FI}\Sigma G_k$$

**GEO** (Geotekninen kantavuus)

$$1,0K_{FI}\Sigma G_k + 1,3K_{FI}Q_{k,1} + 1,3K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

**Onnettomuustilanne** (mitoitettavan kuorman mukaan)

$$\Sigma G_k + A_d + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i} \quad \text{Lumi}$$

$$\Sigma G_k + A_d + \psi_{2,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i} \quad \text{Hyöty}$$

**Käyttörajatilan yhdistelmät****Ominaisyhdistelmä** (palautumattomille rajatiloille)

$$\Sigma G_k + Q_{k,1} + \Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

**Tavallinen yhdistelmä** (palautuville rajatiloille)

$$\Sigma G_k + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$$

**Pitkäaikaisyhdistelmä** (pitkäaikaisvaikutuksille)

$$\Sigma G_k + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$$

$$Q_{k,hyöty} = q_{k,hyöty} + q_{k,lisä}$$

$$Q_{k,lumi} = q_{k,lumi}$$

$$\Sigma G_k = g_k + g_{k,lisä}$$

**LÄHTÖTIEDOT** Mallitalo  
Talo A**Kuormakerroin**

Kfi 1

**Rakennuksen tyyppi**

Asuintila ▼

**Seuraamusluokka**

CC2 ▼

**Kerrosvähennys**

Ei käytetä ▼

**Kerroksia**

5 ▼

**Lumikuorma maassa**

Sk ≤ 2,75 kN/m2 ▼

**Pienennyskerroin**α<sub>n</sub> 0,820**Merkintöjen selitteet**

K <sub>FI</sub>	Kuormakerroin
ΣG <sub>k</sub>	Pysyvien kuormien ominaisarvojen summa
Q <sub>k,1</sub>	Määräävän muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo
Q <sub>k,i</sub>	Muun samanaikaisen muuttuvan kuorman i ominaisarvo
A <sub>d</sub>	Onnettomuuskuorman mitoitusarvo
g <sub>k</sub>	Pysyvän kuorman ominaisarvo
q <sub>k</sub>	Yksittäisen muuttuvan kuorman ominaisarvo
Σg <sub>k</sub>	Pysyvien kuormien ominaisarvojen summa
Σq <sub>k</sub>	Muuttuvien kuormien ominaisarvojen summa
Σp <sub>k</sub>	Pysyvien ja muuttuvien kuormien ominaisarvojen summa kerrostasossa
Σp <sub>d</sub>	Pysyvien ja muuttuvien kuormien suunnitteluarvo kerrostasossa
Σp <sub>A</sub>	Onnettomuuskuorman mitoitusarvo kerrostasossa
ψ <sub>0</sub>	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, ominaisyhdistelmä
ψ <sub>1</sub>	Muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykerroin
ψ <sub>2</sub>	Muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin
ψ <sub>2,i</sub>	Muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien yhdistelykerroin
Kumul	Kumulatiivinen kuorma kerrostasossa

**YHDISTELYKERTOIMET, KUORMAKERROIN JA KERROSVÄHENNYKSEN PIENENNYSKERROIN**  
**Arvot määräytyvät automaattisesti lähtötietojen mukaan**

Rakennuksen tyyppi						
Hyötykuormat		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	Hakuv.	Solul.
A	Asuintila	0,7	0,5	0,3	1	1
B	Toimistotila	0,7	0,5	0,3	2	
C	Kokoontumistila	0,7	0,7	0,3	3	
D	Myymlätila	0,7	0,7	0,6	4	
E	Varastotila	1	0,9	0,8	5	
F	Liikennöitävä tila < 30 kN	0,7	0,7	0,6	6	
G	Liikennöitävä tila 30...160 kN	0,7	0,5	0,3	7	
H	Vesikatot	0	0	0	8	
Lumikuorma maassa						
$S_k \leq 2,75 \text{ kN/m}^2$		0,7	0,4	0,2	1	1
$S_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$		0,7	0,5	0,2	2	

Seuraamusluokka	Luotettavuusluokka	$K_{FI}$			
CC3	RC3	1,1		1	2
CC2	RC2	1,0		2	
CC1	RC1	0,9		3	

Kerrosvähennys				
Käytetään			1	2
Ei käytetä			2	
$\alpha_n$	0,820			
n (kerrosten määrä)	5			
$\psi_0$	0,7			

Kerroksia	solul
1	5
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	

## LÄHTÖARVOT

Sinisten ruutujen lähtöarvot määräytyvät käyttöliittymästä

Yhdistelykertoimet määräytyvät automaattisesti rakennuksen luokituksen perusteella

Taso-kohtaan merkitään korkeusasema, jossa kuorma vaikuttaa (yleensä välipohjan yläpinta)

LÄHTÖARVOT																
KUORMALINJA		KUORMAT						OMINAISARVOT			Kertoimet					
A/1...2		PYSYVÄT		MUUTTUVAT			ONNETT.	Kuormat			Hyöty			Lumi		
kerros	taso	$g_k$	$g_{k,lisä}$	$q_{k,lumi}$	$q_{k,hyöty}$	$q_{k,lisä}$	$A_d$	$\Sigma G_k$	$\Sigma Q_{k,hyöty}$	$\Sigma Q_{k,lumi}$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
14.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
13.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
12.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
11.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
10.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
9.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
8.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
7.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
6.								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
5.	+21.000	86		16	0		0	85,6	0,0	16,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
4.	+18.000	72		0	16		0	72,0	16,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
3.	+15.000	72		0	16		0	72,0	16,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
2.	+12.000	72		0	16		0	72,0	16,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
1.	+9.000	72		0	16		0	72,0	16,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
Kellari								0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
Perustus	+7.000	76			16			76,0	16,0	0,0	0,7	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
YHTEENSÄ		450	0		80	0		450	80	16						

## KÄYTTÖRAJATILAN SUURIMMAT JA PIENIMMÄT ARVOT

Punainen = Yläarvo

Vihreä = Ala-arvo

KÄYTTÖRAJATILA									
YLÄARVOT								ALA-ARVOT	
kerros	taso	Ominais		Tavallinen		Pitkäaikainen		$\Sigma G_k$	Kumul.
		$\Sigma p_{k,om}$	Kumul.	$\Sigma p_{k,tav}$	Kumul.	$\Sigma p_{k,pit}$	Kumul.		
14.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.	+21.000	102	102	92	92	86	86	86	86
4.	+18.000	88	190	80	172	72	158	72	158
3.	+15.000	88	278	80	252	72	230	72	230
2.	+12.000	88	366	80	332	72	302	72	302
1.	+9.000	88	454	80	412	72	374	72	374
Kellari		0	454	0	412	0	374	0	374
Perustus	+7.000	92	546	84	496	76	450	76	450
YHTEENSÄ			546		496		450		450

## MURTORAJATILAN SUURIMMAT JA PIENIMMÄT ARVOT

Punainen = Yläarvo

Vihreä = Ala-arvo

MURTORAJATILA KT1...4										
YLÄARVOT									ALA-ARVOT	
kerros	taso	KT1/EQU		KT2/STR		KT3/ONNETT.		KT4/GEO		
		$\Sigma p_{d,EQU}$	Kumul.	$\Sigma p_{d,STR}$	Kumul.	$\Sigma p_A$	Kumul.	$\Sigma p_{d,GEO}$	$0,9\Sigma G_k$	Kumul.
14.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
13.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
12.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
11.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
10.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
9.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
8.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
7.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
6.	0	0	0	0	0	0	0		0	0
5.	+21.000	118	118	122	122	92	92		77	77
4.	+18.000	103	221	107	229	80	172		65	142
3.	+15.000	103	325	107	336	80	252		65	207
2.	+12.000	103	428	107	443	80	332		65	271
1.	+9.000	103	531	107	550	80	412		65	336
Kellari	0	0	531	0	550	0	412		0	336
Perustus	+7.000	108	639	111	661	84	496	568	68	405
YHTEENSÄ			639		661		496	568		405

# KÄYTTÖRAJATILAN KUORMITUSYHDISTELYJEN ARVOT

Sivu: 6 (7)

<b>Yläarvot määräävän kuorman mukaan</b>
<b>Ominaisyhdistelmä</b> (palautumattomille rajatiloille)
$\Sigma G_k + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$
<b>Tavallinen yhdistelmä</b> (palautuville rajatiloille)
$\Sigma G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$
<b>Pitkäaikaisyhdistelmä</b> (pitkäaikaisvaikutuksille)
$\Sigma G_k + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

<b>Ala-arvot vain pysyvät kuormat huomioiden</b>
$\Sigma G_k$

hyöty = hyötykuorma sijoitettu $Q_{k,1}$
lumi = lumikuorma sijoitettu $Q_{k,1}$

		KÄYTTÖRAJATILA								
		ominais			tavallinen			pitkäaikainen		
kerros	taso	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi	$\Sigma G_k$	hyöty	lumi
14.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5.	+21.000	85,60	96,80	101,60	85,60	88,80	92,00	85,60	85,60	88,80
4.	+18.000	72,00	88,00	83,20	72,00	80,00	76,80	72,00	76,80	72,00
3.	+15.000	72,00	88,00	83,20	72,00	80,00	76,80	72,00	76,80	72,00
2.	+12.000	72,00	88,00	83,20	72,00	80,00	76,80	72,00	76,80	72,00
1.	+9.000	72,00	88,00	83,20	72,00	80,00	76,80	72,00	76,80	72,00
Kellari		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Perustus	+7.000	76,00	92,00	87,20	76,00	84,00	80,80	76,00	80,80	76,00

**MURTORAJATILAN KUORMITUSYHDISTELYJEN ARVOT**

Sivu: 7 (7)

Yläarvot määräävän kuorman mukaan
<b>EQU</b> (Tasapaino) $1,1K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$
<b>STR</b> (Lujuus) Suurempi seuraavista $1,15K_{FI}\Sigma G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$ $1,35K_{FI}\Sigma G_k$
<b>GEO</b> (Geotekninen kantavuus) $1,0K_{FI}\Sigma G_k + 1,3K_{FI}Q_{k,1} + 1,3K_{FI}\Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$
<b>Onnettomuustilanne</b> (mitoitettavan kuorman mukaan) $\Sigma G_k + A_d + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$ Lumi $\Sigma G_k + A_d + \psi_{2,1}Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i}Q_{k,i}$ Hyöty

Ala-arvot vain pysyvät kuormat huomioiden
$0,9\Sigma G_k$
hyöty = hyötykuorma sijoitettu $Q_{k,1}$ lumi = lumikuorma sijoitettu $Q_{k,1}$

MURTORAJATILA														
		EQU			STR				ONNETT.				GEO	
kerros	taso	$0,9\Sigma G_k$	hyöty	lumi	$0,9\Sigma G_k$	$1,35K_{FI}\Sigma G_k$	hyöty	lumi	hyöty1	lumi1	hyöty2	lumi2	hyöty	lumi
14.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
13.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
12.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
11.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
10.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
9.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
8.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
7.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
6.	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
5.	+21.000	77,04	110,96	118,16	77,04	115,56	115,24	122,44	88,80	92,00	88,80	88,80		
4.	+18.000	64,80	103,20	96,00	64,80	97,20	106,80	99,60	80,00	76,80	76,80	76,80		
3.	+15.000	64,80	103,20	96,00	64,80	97,20	106,80	99,60	80,00	76,80	76,80	76,80		
2.	+12.000	64,80	103,20	96,00	64,80	97,20	106,80	99,60	80,00	76,80	76,80	76,80		
1.	+9.000	64,80	103,20	96,00	64,80	97,20	106,80	99,60	80,00	76,80	76,80	76,80		
Kellari		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Perustus	+7.000	68,40	107,60	100,40	68,40	102,60	111,40	104,20	84,00	80,80	80,80	80,80	568,16	543,20